

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA)

CATEGORÍA II

*INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE
ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE*

INFORME DEL AÑO 2023

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13213	2023	BIODIVERSITY CONSULTANT GROUP	30/11/2023

Preparado por:



ABRIL 2023

Proyecto Mina de Cobre Panamá

INFORME ANUAL DE
MONITOREO DE
ECOSISTEMAS DE AGUA
DULCE



Biodiversity Consultant Group (BCG)

Hato Pintado, Calle Sauce, Casa L13

Teléfono: 203-6384

Equipo Administrativo:

Msc, MBA. Samuel Valdés	-Director - Ictiología y entomología
Msc. César Jaramillo	-Gerente
Msc. Marelys Torres	-Gerente de Proyectos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Logística
Téc. Juan Hernández	-Logística y Seguridad

Equipo de Especialistas:

MSc. César Jaramillo	-Herpetología
MSc. Marelys Torres	-Gestión Ambiental
Téc. Laurencio Martínez	-Botánica
Téc. Kathania Flores	-Botánica
Téc. Benjamín Walker	-Vida Silvestre y Mastozoología
Téc. Yaritza González	-Peces e Insectos Acuáticos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Ornitología

Colaborador Externo:

MSc. Orlando O. Ortiz	-Botánico.
-----------------------	-------------------

Equipo Asesor de BCG:

Lic. Samuel Valdés	-Peces de agua dulce y Entomología
Lic. Alvin Zapata	-Botánica

2023 BCG Panamá

Contenido

Resumen Ejecutivo	1
Introducción.....	2
Metodología.....	3
Área de Estudio y sitios de muestreo.....	3
Descripción de hábitat	4
Calidad de agua y sedimentos.....	5
Macroinvertebrados acuáticos	6
Índice BMWP/PAN	7
Peces	8
Perifiton.....	9
Análisis estadístico	10
Resultados y Discusión.....	12
Descripción de los tramos visitados	12
Índice de Hábitat Fluvial.....	20
Parámetros fisicoquímicos del agua	21
Metales en agua	23
Metales en sedimento	25
Perifiton.....	28
Macroinvertebrados acuáticos	33
BMWP/PAN	38
Diversidad de peces	41
Conclusiones.....	46
Bibliografía.....	47
Anexos.....	48

Contenido de figuras

Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.	3
Figura 2. Técnica de kicking para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos.	7
Figura 3. Técnicas de muestreo de peces	9
Figura 4. Raspado de piedras para la toma de muestras de perifiton.	10
Figura 5. Vista del sitio HB-EAD-001 (Referencia Hoja).	12
Figura 6. Vista del sitio HB-EAD-002 (Referencia Rinconcito).	13
Figura 7. Vista del sitio HB-EAD-003 (PMC – Caimito).	14
Figura 8. Vista del sitio HB-EAD-004 (PML – Caimito).	15
Figura 9. Vista del sitio HB-EAD-005 (PMC Botija).	16
Figura 10. Vista del sitio HB-EAD-006 (PML Botija).	17
Figura 11. Vista del sitio HB-EAD-007 (PMC Petaquilla).	18
Figura 12. Vista del sitio HB-EAD-008 (PML Petaquilla).	19
Figura 13. Gráfica del IHF indicando rangos de calidad por sitio muestreado.	20
Figura 14. Parámetros fisicoquímicos analizados en muestras de agua.	22
Figura 15. Análisis PCA para parámetros fisicoquímicos en agua.	23
Figura 16. Análisis de PCA para metales disueltos en muestras de agua.	25
Figura 17. Análisis de PCA para metales en sedimentos.	27
Figura 18. Dendrograma utilizando el método de aglomeración UPGMA con el índice Bray Curtis, para la composición taxonómica de algas perifíticas en las muestras.	31
Figura 19. Registro fotográfico de algunos taxos registrados en el área de estudio.	32
Figura 20. Gráfico mostrando la abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras.	35
Figura 21. Gráfica del PCA de macroinvertebrados acuáticos.	37
Figura 22. Árbol de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis para macroinvertebrados	38
Figura 23. Índice BMWP/PAN estimado para los sitios muestreados.	39
Figura 24. Variación anual del índice BMWP por sitio de muestreo	40
Figura 25. Curva de rarefacción obtenida para este muestreo de peces	41
Figura 26. Abundancia de especies de peces registradas	42
Figura 27. Gráfico líneas indicando la variación del Índice de diversidad de Shannon a través de tiempo para cada sitio muestreado	43
Figura 28. Árbol de agrupamiento por índice de similaridad Bray Curtis para peces.	45

Contenido de tablas

Tabla 1. Nombre y coordenadas de los sitios muestreados.	4
Tabla 2. Parámetros y escalas de valoración del Índice de Calidad de Hábitat.	5
Tabla 3. Rango de valores y categorías de la calidad de hábitat.	5
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua y sedimentos.	6
Tabla 5. Escala de calidad biológica del agua BMWP.....	8
Tabla 6. Índices de diversidad y su descripción.	11
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el muestreo.	21
Tabla 8. Metales disueltos en muestras de agua de los tramos muestreados.....	24
Tabla 9. Valores de metales en sedimentos.	26
Tabla 10. Registro de genero de microalgas asociadas a perifiton.....	29
Tabla 11. Principales índices descriptores de biodiversidad de algas que componen el perifiton de las muestras	30
Tabla 12. Cantidad de individuos por taxon y localidad de macroinvertebrados acuáticos. 33	
Tabla 13. Índices de diversidad biológica de peces por sitio muestreado.	44
Tabla 14. Registro de la abundancia de especies de peces por cada sitio de muestreo.	48
Tabla 15. Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos por sitio.....	50
Tabla 16. Metales analizados en las muestras de sedimentos de cada tramo.	56
Tabla 17. Metales disueltos analizados en muestras de agua.	57

Resumen Ejecutivo

Entre el 28 de marzo al 4 de abril de 2023 se desarrolló el Monitoreo de Efectos Ambientales: Ecosistemas de Agua Dulce en el área de influencia de Cobre Panamá siguiendo los estándares de cumplimiento del EsIA Categoría III, aprobado para el Proyecto Mina de Cobre Panamá. Así durante este muestreo se tomaron muestras en ocho estaciones, seis ubicadas de manera cercana y lejana al efecto de la mina sobre las tres cuencas principales: Caimito, San Juan de Turbe y Petaquilla, y dos estaciones ubicadas en sistemas de referencia sin intervención del Proyecto Mina de Cobre Panamá, uno en Río Hoja y otro en Río Rinconcito. Los resultados obtenidos en general, no presentan diferencias significativas entre los puntos lejanos y cercanos, ni los sitios de referencia.

Los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican que el sitio HB-EAD-005 (PMC-Botija) obtuvo el mejor puntaje asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad estuvo HB-EAD-007 (PML-Petaquilla).

En comparación con el muestreo anterior un cambio evidente en la diversidad de peces se presenta en el tramo HB-EAD-005 (PMC-Botija) que presenta, en esta ocasión, un índice de Shannon inferior a los registrados durante el muestreo los años 2018 a 2022. Los tramos del río Petaquilla HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) mantienen el valor máximo registrado del índice de Shannon para este muestreo.

Introducción

La empresa Minera Panamá S.A. (MPSA) se encuentra ubicada en el distrito de Donoso, provincia de Colón, en la región central de la vertiente del Caribe de Panamá. Según la clasificación climática de Köppen, el área presenta un clima tropical muy húmedo, con promedio anual de precipitaciones entre 3500 a 6000 mm, siendo una de las regiones del istmo con mayor precipitación anual.

La zona se caracteriza por presentar cuencas cortas con cabeceras de relativa alta pendiente y suelos superficiales típicos de la selva pluvial hiper-húmeda. Es por ello que los arroyos que fluyen por su área de influencia presentan cambios abruptos en la carga de sólidos suspendidos, baja disponibilidad de nutrientes y aguas de escorrentía naturalmente ácidas generada por los ácidos húmicos resultantes de la descomposición de hojarasca, en base a estos datos se genera una condición ecohidrológica extrema y una biodiversidad acuática capaz de resistir estos permanentes estados de disturbio natural. Esto implica que de manera natural y recurrente a los diferentes arroyos en monitoreo llegan por escorrentía sedimentos con carga naturales de metales dada su historia y condiciones geológicas particulares.

La empresa Minera Panamá se encuentra en la etapa de operación del Proyecto Mina de Cobre Panamá en el cual se desarrollan las actividades propias de la extracción y aprovechamiento de minerales, así como la apertura de tajos y la acumulación de material estéril en botaderos cuyos efectos potenciales sobre los ecosistemas acuáticos son mitigadas en una alta proporción.

En tal sentido se formuló el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce que se encuentra en ejecución bajo el marco conceptual de un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés), dirigido a asegurar que los controles ambientales implementados sobre los cuerpos de agua existentes alrededor de la mina sean efectivos en la mitigación de los impactos generados.

En este informe se presentan las metodologías implementadas, resultados obtenidos e interpretación y conclusiones del muestreo realizado del 28 de marzo al 4 de abril de 2023 para el Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce, bajo un programa de Monitoreo de Efectos Ambientales de los arroyos en el área de influencia de Cobre Panamá.

Metodología

Área de Estudio y sitios de muestreo

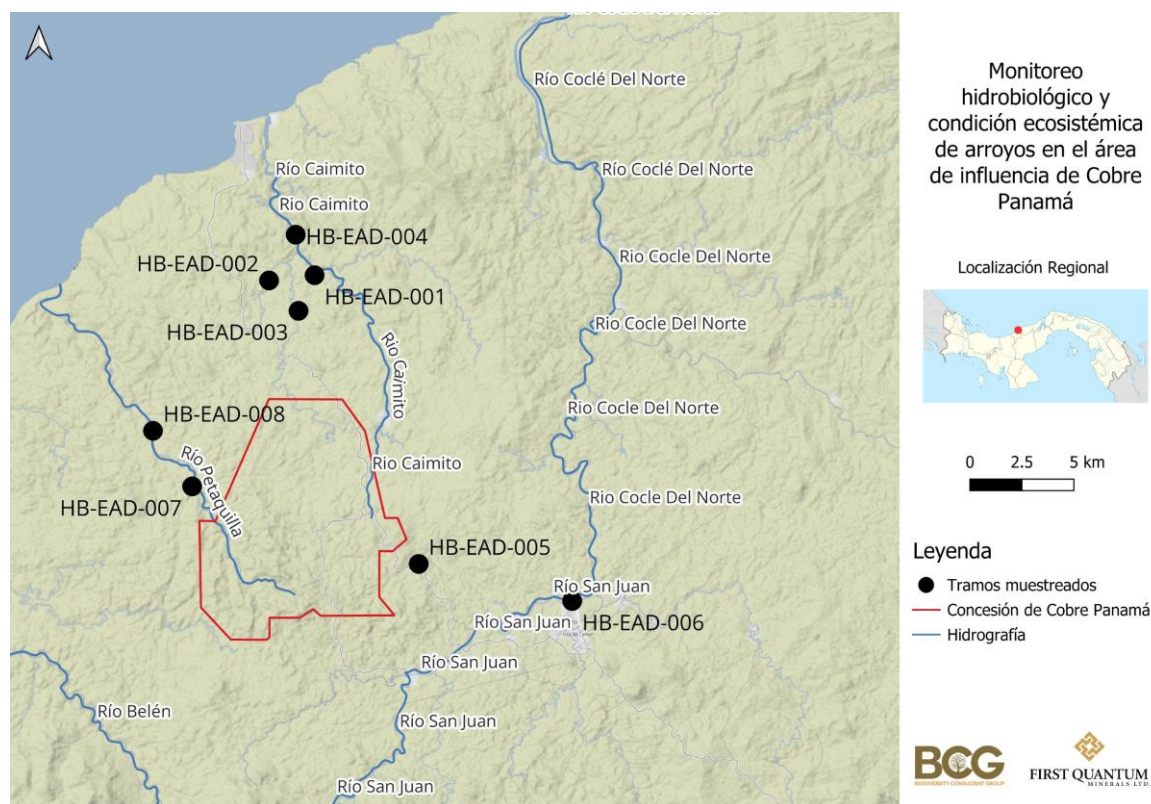


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

El programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés), fue diseñado para monitorear los efectos de la operación minera sobre las cuencas hidrográficas que rodean al proyecto. Esto incluye las tres cuencas de los ríos Petaquilla, Caimito y San Juan de Turbe (Río Botija).

Los Puntos de Muestreo Cercano (**PMC**), son los puntos de muestreo que están ubicados tan cerca como sea posible de la operación, pero aguas abajo de una hipotética zona de mezcla. Los Puntos de Muestreo Lejano (**PML**), son los sitios de muestreo alejados de la zona de mezcla, en donde se supone ha ocurrido una dilución importante de las descargas; actualmente, se ha realizado la actualización de la codificación de estos sitios, esta nueva codificación se compone de los acrónimos **HB** (Hidrobiológico) y **EAD** (Ecosistemas de Agua Dulce).

Los puntos PMC, PML y las Áreas de Referencia (**Ref.**) fueron determinados en la línea base (2012) dentro de las tres cuencas principales que potencialmente están bajo la influencia de la operación del Proyecto Mina de Cobre Panamá, en la figura 1 se observa los sitios donde fueron establecidos los puntos de monitoreo y en la Tabla 1 se presentan las coordenadas de cada uno, además de los nuevos códigos implementados por Minera Panamá.

Tabla 1. Nombre y coordenadas de los sitios muestreados.

CÓDIGO SITIO MONITOREO	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
			ESTE	NORTE	
HB-EAD-001	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal
HB-EAD-002	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario.
HB-EAD-003	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio o Uvero, aguas abajo de la descarga de la IMR.
HB-EAD-004		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito.
HB-EAD-005	Ríos Botija y San Juan	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito.
HB-EAD-006		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo.
HB-EAD-007	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande.
HB-EAD-008		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla, próximo a un potrero.

HB: hidrobiológico; **EDA:** Ecosistema de Agua Dulce; **IMR:** Instalación de manejo de relaves.

Se muestrearon ocho tramos y en cada uno se estimó el índice de hábitat fluvial modificado de Cornejo (2019), se tomaron datos de calidad de agua y sedimentos, además se recolectaron peces, macroinvertebrados acuáticos y perifiton con las metodologías que se describen a continuación.

Descripción de hábitat

Los tramos muestreados se describieron mediante el Protocolo 3 “Caracterización de Hábitat” modificado por (Cornejo A, *et al.*, 2019). La evaluación de hábitat incluye 10 parámetros que se valoran numéricamente del 1 al 20 en orden ascendente de calidad, siendo el valor 0 la condición pobre o menos deseable y el valor 20 la condición óptima. La suma de los valores da como resultado un Índice de Calidad de Hábitat Fluvial.

Tabla 2. Parámetros y escalas de valoración del Índice de Calidad de Hábitat.

Parámetro	Escala
Heterogeneidad y estabilidad del sustrato disponible	0-20
Empotramiento del sustrato	0-20
Relación Profundidad y Velocidad	0-20
Deposición de sedimentos	0-20
Estado del Flujo del Cauce	0-20
Alteración del Cauce	0-20
Frecuencia de Rápidos	0-20
Estabilidad de la Ribera Izquierda	0-10
Estabilidad de la Ribera Derecha	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Izquierda	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Derecha	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Izquierda	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Derecha	0-10
Valor Mínimo del Índice	0
Valor Máximo del Índice	200

El método de evaluación de la calidad del hábitat utilizado se basa en los Protocolos de Bioevaluación Rápida (Barbour et al., 1999), de la USEPA, 1993 y categoriza los hábitats como óptimos, subóptimos, marginales y pobres según la siguiente puntuación.

Tabla 3. Rango de valores y categorías de la calidad de hábitat.

Calidad de Hábitat	Rango
Óptimo	166-200
Subóptimo	113-165
Marginal	60-112
Pobre	0-59

Calidad de agua y sedimentos

Los datos de conductividad, potencial de Hidrógeno (pH), temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos con un Multiparámetro marca HANNA modelo H198194, sumergiendo la sonda hasta una profundidad de 30 cm siempre dentro de una zona de mezcla. La sonda fue calibrada diariamente con el uso de soluciones estándar de pH 4.01, pH 7.00 y conductividad de 754 $\mu\text{S}/\text{cm}$. además, Se recolectaron muestras de agua para análisis de Alcalinidad mediante el método de titulación SM-2320-B, Carbono Orgánico Total (SM-5310-C), Cianuro Total (EPA 335.2), fluoruros, cloruros, bromuros, nitratos y sulfatos mediante cromatografía de iones (SM-4110-B), demanda bioquímica de oxígeno (SM-5210-D),

demanda química de oxígeno (SM-5220-D), Nitrógeno total mediante el método de espectrofotometría (DIN-EN-ISO-11905-1), dureza total por titulación (SM-2340-C), sólidos suspendidos por el método gravimétrico (SM-2540-D) y metales pesados mediante los métodos EPA-6020-B , EPA 335.2, y para sedimentos EPA 200.7. Todas las muestras para el análisis de metales en agua y sedimento fueron procesadas y analizadas por el laboratorio ALS.

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua y sedimentos.

Calidad de Agua	Calidad de Sedimentos
TSS, DQO, DBO5, dureza, alcalinidad, amoníaco, nitrato, nitrógeno total de Kjeldahl, total de fósforo, carbono orgánico disuelto y total, polifenoles <u>Iones</u> : cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, nitritos, Amonia, bromuro, fluoruros. <u>Metales</u> : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, and Zn.	<u>Metales</u> : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn,

Macroinvertebrados acuáticos

En cada tramo de 100 metros, se implementó la técnica de muestreo multihábitat, que consiste en muestrear los principales hábitats acuáticos en proporción al porcentaje en que se encuentran representados en el tramo de 100 metros del río o afluente en evaluación.

De esta manera en cada uno de los microhábitats (rápidos, pozas y vegetación emergente, materiales sumergidos), se aplicó el método de kicking que consiste en remover el sustrato con el uso de los pies, sosteniendo una red tipo D con apertura de malla de 500 micras (Figura 2). Posteriormente las muestras fueron preservadas en alcohol al 70% y trasladadas hasta el laboratorio de BCG, donde fueron separadas e identificadas hasta nivel de género utilizando las claves taxonómicas para Odonata (Ramírez, 2010), Trichoptera (Springer, 2010), Ephemeroptera (Flowers & De la Rosa, 2017), Diptera (Fusari *et al.*, 2018), Coleoptera (Benetti *et al.*, 2018) y Hemiptera (Figueiredo M. *et al.*, 2018) además del conteo y estimación del Índice BMWP/PAN (Cornejo A. *et al.*, 2019). con la ayuda de un estereoscopio Olympus SZX10 y un microscopio Olympus CX43 ambos con cámaras incorporadas.



Figura 2. Técnica de kicking para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

Posterior a la identificación se estimaron los principales descriptores de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y los siguientes índices de diversidad a nivel de género.

- Densidad total de invertebrados
- Riqueza de los principales grupos taxonómicos
- Riqueza de géneros
- Indices Biological Monitoring Working Party (BMWP-PAN)

Índice BMWP/PAN

El efecto de la calidad del agua sobre los macroinvertebrados acuáticos ha sido generalmente evaluado con índices como el desarrollado por el Biological Monitoring Working Party (BMWP), en cual se basa en la sensibilidad o tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos a la contaminación orgánica del agua. El índice BMWP ha sido ampliamente utilizado en la región tropical, con adaptaciones a las diferentes faunas locales, incluyendo a Panamá (BMWP/PAN). El índice BMWP ha sido ampliamente utilizado en la región tropical, con adaptaciones a las diferentes faunas locales, incluyendo a Panamá (BMWP/PAN)^[1], sin embargo se ha establecido que en los ríos del neotrópico este índice debe considerar el efecto de las lluvias en la disponibilidad de hábitat pues estas favorecen las especies consideradas tolerantes a la contaminación haciendo que se califique como contaminados tramos de ríos en los que han ocurrido lluvias pero su calidad de agua no evidencia aportes de materia orgánica.

^[1] Cornejo A, López-López E, Ruiz-Picos RA, Sedeño-Díaz JE, Armitage B, Arefina T, et al. Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Panamá: Ministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Panamá; 2017.

El valor del índice BMWP/PAN se obtiene sumando el valor de intolerancia a elevados contenidos de materia orgánica de todas las familias colectadas en una estación de muestreo, independientemente de la abundancia. Luego del cálculo del BMWP/PAN se clasifica la calidad biológica del agua en una escala de 0 a 150 en las seis categorías que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Escala de calidad biológica del agua BMWP.

Calidad del Agua	Valor	Color
Excelente	>150	
Buena	78-149	
Regular	59-77	
Contaminada	39-58	
Muy contaminada	20-38	
Extremadamente contaminada	< 19	

Peces

En cada tramo se muestrearon todos los hábitats disponibles haciendo uso de diferentes métodos de pesca, siendo el método principal la electropesca estandarizada con GPS incorporado modelo APEX usada a una profundidad promedio de 30 cm. La configuración del equipo en condiciones de baja conductividad fue la siguiente: 500V, 30 Hz con un ciclo de 45% y en condiciones de conductividad media: 200V, 60Hz y ciclo de 30%.

Adicionalmente, se utilizaron atarrayas y chinchorro en pozas y orillas al igual que red manual en zonas con vegetación riparia emergente o pozas pequeñas (Figura 3).

El muestreo se ejecutó durante un periodo de una hora en cada tramo. Las muestras fueron fotografiadas vivas, utilizando una Cámara Canon 7D Mark II equipada con lente macro de 60 mm y flash Canon MT-24EX Macro, los especímenes fueron anestesiados con benzocaína (MS-222) y colocados en un acuario de sección triangular dentro de un miniestudio con iluminación LED. Los ejemplares que se colectaron fueron fijados con formalina al 10% amortiguada con borato de sodio. Finalmente, las muestras fueron lavadas, identificadas, contadas, medidas, pesadas y preservadas en alcohol 70%.

Las medidas se efectuaron con el uso de un vernier digital con resolución de 0.01 mm y pesadas con una balanza Ohaus con resolución de 0.01 gramos.

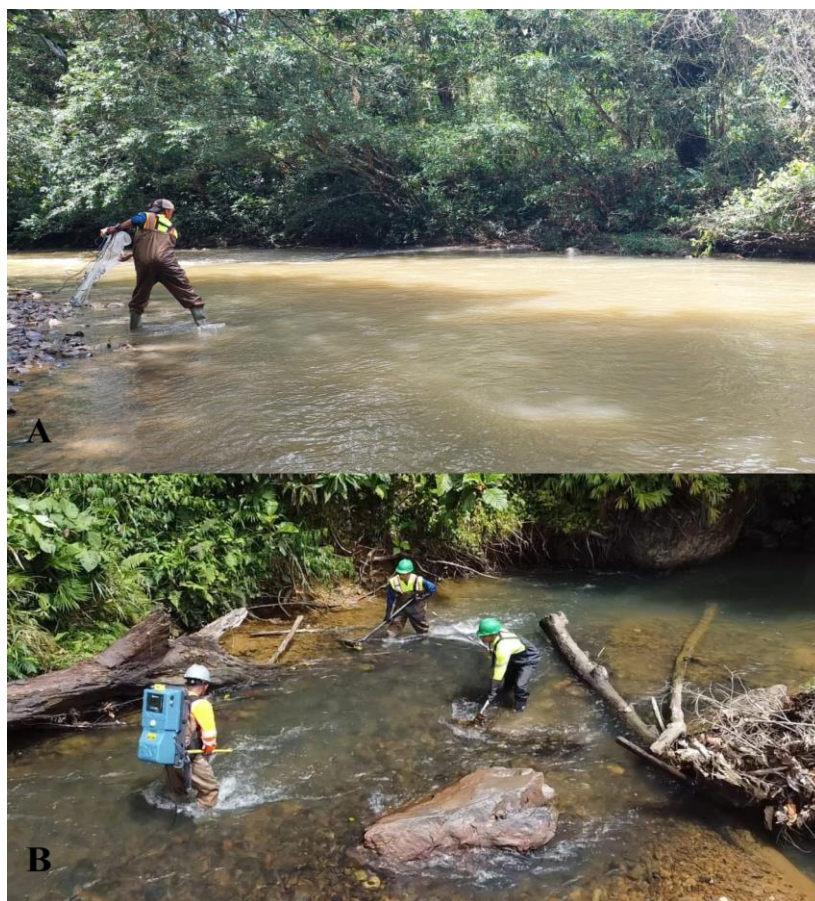


Figura 3. Técnicas de muestreo de peces A) Lance de atarraya y B) uso de electropesca.

Perifiton

En cada uno de los sitios de muestreo se realizaron 10 raspados de piedras con perifiton con la ayuda de un cepillo dental utilizando un cuadrante de 9 cm^2 para obtener un área removida total por estación de muestreo de 100 cm^2 disuelto en 100 ml de agua destilada. El material se disolvió en un frasco de plástico color ámbar debidamente rotulado. Las muestras se preservaron con Lugol al 10% (2 ml) y solución Transeau. Después fueron almacenadas para su posterior traslado al laboratorio para su identificación y cuantificación.

Para la observación de las algas perifíticas se utilizó un microscopio invertido Motic AE-31, en el cual se realizó el montaje de la muestra utilizando una cámara de conteo Sedgewick-Rafter de 1 ml de capacidad para efectuar los análisis cuantitativos (Wetzel, 1983).

Se realizó un barrido general de la cámara de conteo con la finalidad de tener una idea de la riqueza y abundancia de la muestra. De acuerdo con los resultados se definió el volumen de muestra a examinar en la cámara de conteo, estandarizando el volumen para cada una de las muestras mediante una curva de acumulación de especies, hasta el volumen en el cual dicha curva alcanzó un valor asintótico o cuando no se registraron nuevos taxones.



Figura 4. Raspado de piedras para la toma de muestras de perifiton.

La identificación taxonómica se realizó hasta el nivel de género o morfoespecie. La identificación estuvo apoyada en claves taxonómicas de (Branco, 1984), (Bicudo & Menezes, 2006), y la guía de Roldan (1992) y confirmada en la base de datos <https://www.algaebase.org/>. Los resultados se reportaron en individuos/cm².

Análisis estadístico

Los datos de diversidad y abundancia de peces, macroinvertebrados acuáticos y perifiton fueron procesados con el software PAST versión 3.26 para la estimación de los índices de diversidad alfa y beta. Además, mediante el análisis multivariado de agrupación se elaboró un árbol de agrupamiento por similitud para las comunidades de peces, macroinvertebrados acuáticos y perifiton con el índice Bray Curtis aplicando el método de agrupación jerárquica UPGMA.

Finalmente, mediante el uso de análisis multivariado de ordenación se ejecutaron análisis de componente principal (PCA) para identificar las variables que determinan las diferencias entre los tramos en función de parámetros químicos, sedimentos y biológicos.

Tabla 6. Índices de diversidad y su descripción.

Categoría	Nombre del Indicador	Descripción
Riqueza Específica	Taxa_S	Cantidad de especies distintas por grupo taxonómico.
Abundancia	Individuals	Cantidad de individuos registrados para cada grupo taxonómico.
Dominancia	Dominance_D	Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad.
Índice de Dominancia	Simpson_1-D	Usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa.
Índice de Equidad	Shannon (H'')	Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a cuál especie pertenece un individuo escogido al azar.
Índice de Diversidad	Evenness	(E)expresa equitatividad en el reparto de los recursos, es decir la uniformidad en la importancia relativa de las distintas especies que habitan un sitio.
Índice de Equidad	Brillouin	Índice utilizado cuando la aleatoriedad de la muestra no puede garantizarse.
Riqueza Específica	Margalef	Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.
Riqueza Específica	Menhinick	Relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra.
Índice de Equitabilidad	Equitability_J	El índice J de equitabilidad compara el índice de Shannon H contra la distribución de individuos entre las especies observadas.
Índice de Diversidad	Fisher_alpha	Este índice evalúa eficazmente la diversidad en función del número de individuos y del número de especies.
Índice de Dominancia	Berger-Parker	Este índice intrínseco simple expresa la importancia proporcional de la mayoría de las especies abundantes
Estimador de Diversidad	Chao-1	Es un estimador no paramétrico del número de especies en una comunidad basado en el número de especies raras en la muestra

Resultados y Discusión

Descripción de los tramos visitados



Figura 5. Vista del sitio HB-EAD-001 (Referencia Hoja).

El tramo de Referencia Hoja se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 537121 Lon. 990012, sobre el río Hoja, afluente del río Caimito. Se accede por helicóptero, aterrizando en el helipad C28 en un potrero con una residencia a menos de 500 metros.

Este tramo del río Hoja presenta rápidos de corrientes fuertes, con un ancho estimado entre 30 a 50 metros, pozas profundas de más de 2 metros e islas con depósitos de material sedimentario. La margen este del tramo presenta alteraciones en su cobertura de bosque ripario, en tanto que el margen occidental presenta árboles de entre 20 a 30 metros de altura, poca evidencia de intervención humana.



Figura 6. Vista del sitio HB-EAD-002 (Referencia Rinconcito).

El tramo de Referencia Rinconcito fue localizado en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 534285 Lon. 990059, en la parte alta del río Rinconcito. El tramo presenta condiciones que se consideran como referencia por la ausencia de intervención en sus márgenes, vegetación riparia madura, baja conductividad eléctrica y está fuera de los efectos de la mina.



Figura 7. Vista del sitio HB-EAD-003 (PMC – Caimito).

Las coordenadas de este punto son UTM WGS 84, Lat. 536373 Lon. 988352. Se accede mediante helicóptero, aterrizando en el punto denominado “Los Bajos” que se encuentra a orillas del Río del Medio en su parte baja.

La cobertura boscosa de los márgenes está afectada por la existencia de un potrero en su margen oeste y asentamientos humanos en el margen oriental.



Figura 8. Vista del sitio HB-EAD-004 (PML – Caimito).

El tramo PML Caimito se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 536244 Lon. 991898. Se accedió mediante transporte en bote, navegando en dirección sur desde el embarcadero ubicado en el margen oeste del río Caimito frente a la comunidad del mismo nombre.

Durante el periodo de muestreo el río presentó evidencias de una reciente crecida por lluvia, más sus aguas se mantuvieron estables durante la jornada. El tramo abarca rápidos y pozas profundas con fuertes corrientes.

La vegetación riparia se encuentra en estado de madurez, con árboles de entre 15 a 25 metros de altura y sin evidencia de alteraciones por actividades antrópicas en el tramo, sin embargo, es una cuenca con alta ocupación humana aguas arriba y abajo del tramo de muestreo.



Figura 9. Vista del sitio HB-EAD-005 (PMC Botija).

El tramo PMC-Botija se ubica en la comunidad de San Benito, localizada a menos de un kilómetro desde la carretera. Las coordenadas del sitio son UTM WGS 84 Lat. 541972 Lon. 976567.

Las márgenes del río Botija en este tramo están fuertemente afectadas por las actividades antrópicas, particularmente por la presencia de potreros y residencias. Aunque las márgenes se mantienen estables por la poca pendiente, la cobertura boscosa se extiende a pocos metros de la orilla. Las aguas son de velocidad moderada, poco profundas, con pozas que no excede los 2 metros de profundidad usadas para labores domésticas.



Figura 10. Vista del sitio HB-EAD-006 (PML Botija).

Las coordenadas del tramo PML Botija son UTM WGS 84 Lat. 549121 Lon. 974840. Al sitio se accede por una vía de acceso privada que atraviesa un potrero con cultivos de frutales. Las márgenes del río en este punto están alteradas por la habilitación de potreros, cultivos y residencias. Al momento del muestreo presentaba corrientes fuertes en los rápidos, producto de las lluvias recientes.

Hay presencia de islotes formados por la acumulación de rocas y sedimentos, lo que facilita el acceso a la zona de pozas y rápidos.



Figura 11. Vista del sitio HB-EAD-007 (PMC Petaquilla).

Las coordenadas del tramo PMC Petaquilla son UTM WGS 84 Lat. 531420 Lon. 980178, y se accede por helicóptero aterrizando en el helipuerto del antiguo campamento Lata.

El área se encuentra bajo la influencia de la actividad minera ilegal y aguas abajo de la mina abandonada de Petaquilla. Las márgenes del río en este tramo se encuentran alteradas por la habilitación de potreros y trabajaderos, sin embargo, la tala aún no llega a las orillas del río, conservando algunos metros de cobertura boscosa riparia.

En este tramo las aguas fluyen a una velocidad moderada y son navegables en canoas de bajo calado. El lecho es principalmente rocoso y con pozas profundas. Se ubican dragas y evidencias de actividad minera ilegal.



Figura 12. Vista del sitio HB-EAD-008 (PML Petaquilla).

El tramo PML Petaquilla se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 529595 Lon. 982766, sus orillas se encuentran fuertemente intervenidas por actividades de agricultura, ganadería y extracción ilegal de oro. Se accede por helicóptero y se aterriza en un potrero cercano a la comunidad de Nueva Lucha ubicada a aproximadamente 500 metros en línea recta del tramo muestreado. El sitio corresponde con los eventos de muestreo anteriores y los presentados como parte de los alcances.

Este tramo transcurre en un ancho de aproximadamente 40 metros, con aguas de flujo lento y de poca profundidad (< 2.00 metros), con presencia de islas de material arrastrado por la corriente. Se ubican dragas y evidencias que actividad minera ilegal.

Índice de Hábitat Fluvial

El Índice de Hábitat Fluvial (IHF) obtenido para los sitios muestreados se estimó en un rango de 118 y 188, correspondiente a calidad de hábitat **subóptimo** para los sitios HB-EAD-003 (PMC-Caimito), HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) y HB-EAD-005 (PMC-Botija), mientras que los sitios HB-EAD-004 (PML-Caimito), HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla), HB-EAD-006 (PML-Botija), HB-EAD-001 (Ref-Hoja) y HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito) presentaron valores en el rango de **óptimo** (Figura 13).

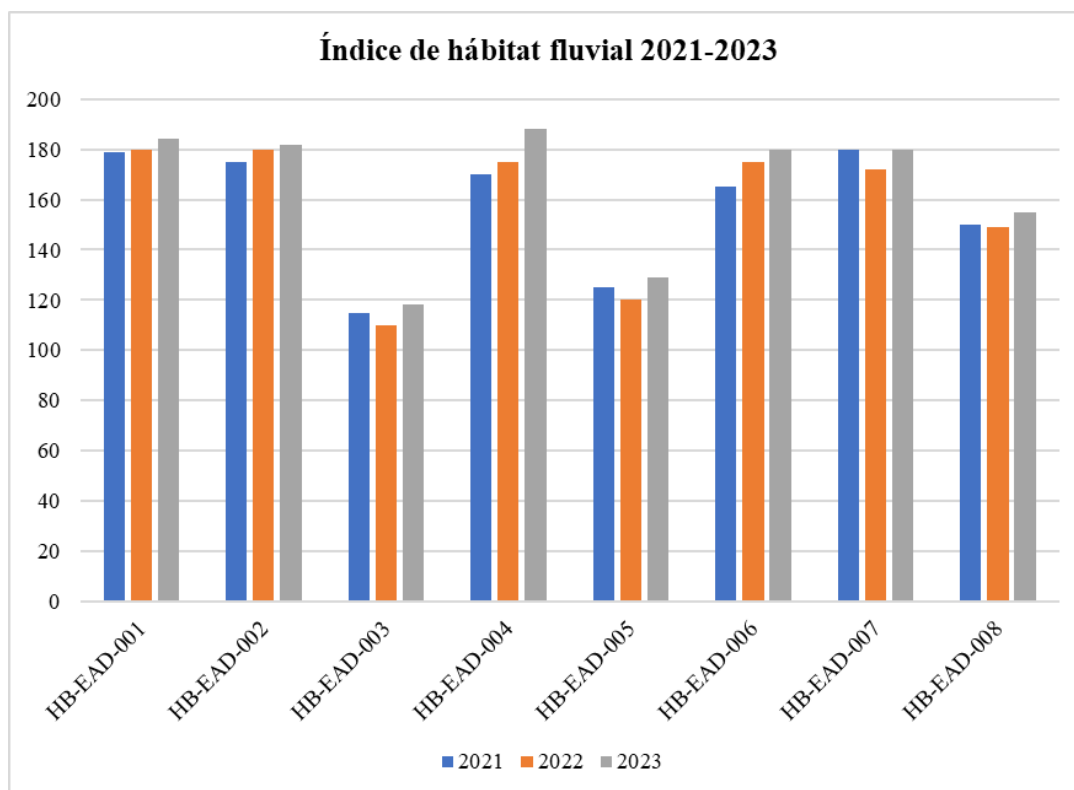


Figura 13. Gráfica del IHF indicando rangos de calidad por sitio muestreado.

Desde la primera evaluación en el 2021, el índice de hábitat fluvial no ha variado debido a que este índice solo cambia ante fuertes intervenciones o alteraciones humanas o naturales en el cauce y márgenes del río, el cual no se han detectado este tipo de alteraciones durante el periodo 2021-2023.

El tramo HB-EAD-003 (PMC-Caimito) presentó el índice más bajo, sin embargo, refleja la recuperación de la vegetación ribereña en ambos márgenes que es dominada por plantas pioneras. Una condición similar fue registrada para los tramos HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) y HB-EAD-005 (PMC-Botija) en donde, asentamientos humanos han eliminado parte de la cobertura vegetal riparia. En el HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) y HB-EAD-001 (Ref-Hoja) es evidente la extracción ilegal de oro dentro de un pequeño afluente del río Petaquilla a menos de 200 metros aguas arriba del tramo muestreado.

En el 2019 se publicó el protocolo de Biomonitorio para la Vigilancia de la Calidad del Agua en Afluentes Superficiales de Panamá (Cornejo et al., 2019), no existían publicaciones formales de los índices ajustados para Panamá antes de esa fecha. Lo cual nos lleva a comparar a partir del 2021 (informes generados por BCG) donde podemos apreciar que no hay diferencias significativas en cuanto al IHF entre los tres años de muestreo.

Parámetros fisicoquímicos del agua

En general las muestras de agua obtenidas en este muestreo cumplen con ser inferiores a los valores de parámetros normados por el Decreto ejecutivo N° 75 del 4 de junio de 2008.

Los resultados de su medición se muestran a continuación:

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos del agua en las muestras obtenidas durante el muestreo.

	LD	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Alcalinidad Total CaCO ₃	1.0	12.7	19.5	16.3	15.1	19.6	13.2	13.2	13.5
Fluoruros F-	0.002	0.058	0.03	0.033	0.033	0.053	0.041	0.003	0.021
Cloruros Cl-	0.061	5,576	4,335	4,764	5,393	4,473	5,882	4,427	3,684
Bromuros Br-	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Nitratos NO ₃	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2
Sulfato SO ₄	0.050	3.748	1.827	20.12	7.074	10.97	5.351	6.032	4.103
Demanda química de oxígeno	2	22	13	14	14	13	13	12	14
Dureza total CaCO ₃	0.30	16.38	15.8	32.99	18.6	29.42	16.1	17.06	12.01
Nitrógeno total	0.024	0.183	0.152	0.203	0.133	0.126	0.09	0.24	0.078
Conductividad	---	54	54	97	64	87	56	34	51
pH	---	6.9	7.0	6.9	7.1	6.8	7.0	7.4	7.0
Sólidos totales suspendidos	3	5	3	18	14	3	3	3	3

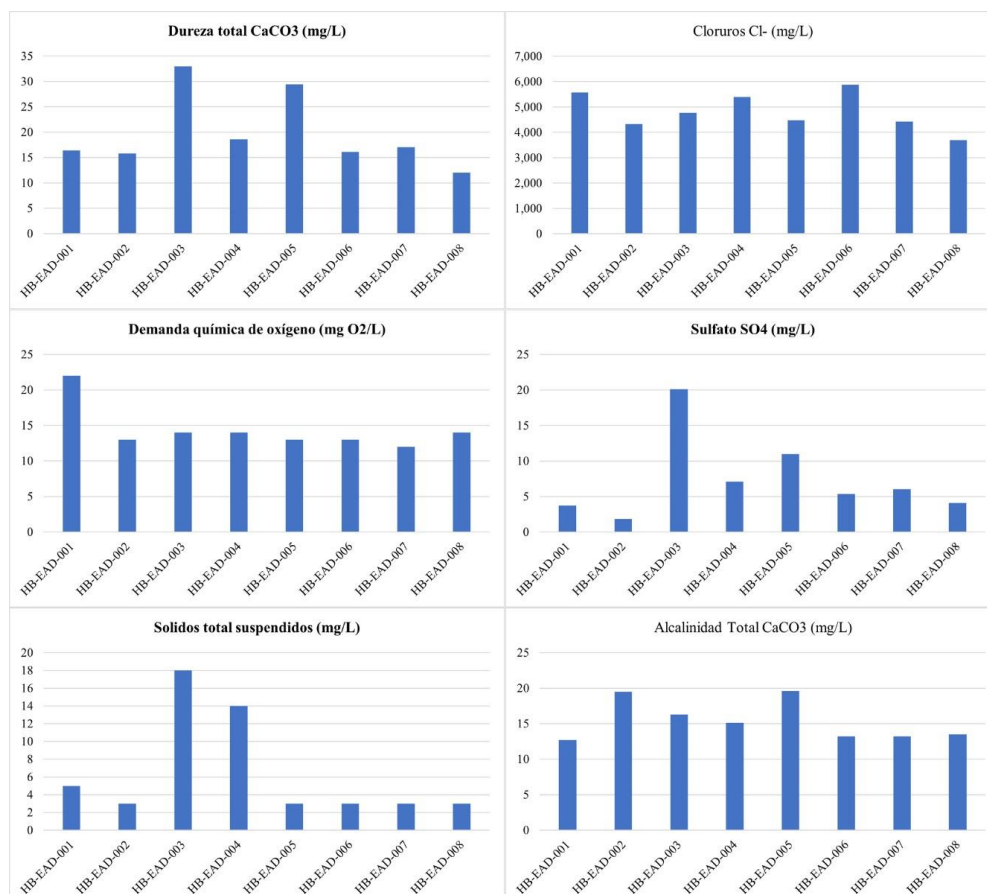


Figura 14. Parámetros fisicoquímicos analizados en muestras de agua.

Se registraron valores bajos de sólidos totales suspendidos en la mayoría de los tramos, a excepción de los tramos HB-EAD-001 (Ref-Hoja), HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito), mientras que la dureza total fue similar en todos los tramos. De manera particular la demanda química de oxígeno presentó elevadas concentraciones en el sitio de referencia HB-EAD-001 (Ref-Hoja) (Tabla 7).

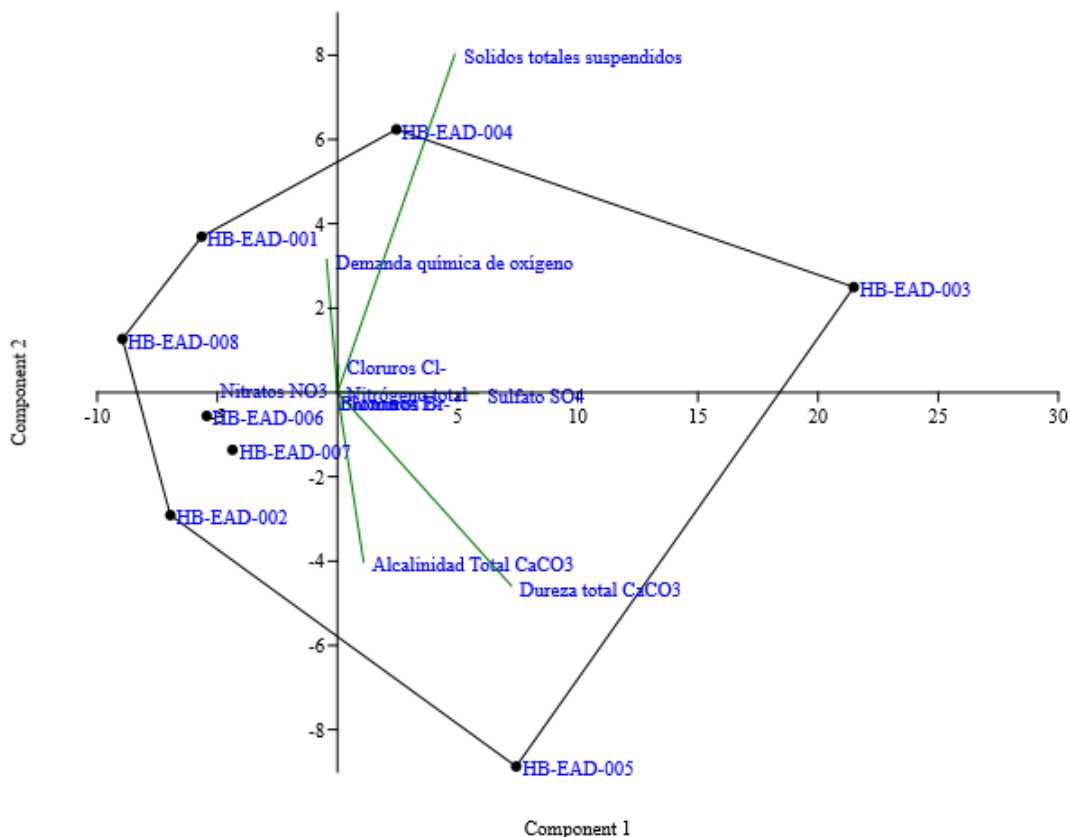


Figura 15. Análisis PCA para parámetros fisicoquímicos en agua.

El análisis de PCA no muestra una ordenación diferencial entre tramos de referencia, cercanos y lejanos. Sin embargo, la representación gráfica de este análisis ubica en el extremo positivo del componente 1 a HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito) reflejando altas concentraciones de sólidos totales suspendidos. En el extremo negativo al tramo HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito), HB-EAD-006 (PML-Botija) y HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) con bajas concentraciones de nitratos, en cambio, en el extremo positivo del componente 2 se ubican los tramos HB-EAD-001 (Ref-Hoja) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) y en el cuadrante negativo a HB-EAD-005 (PMC-Botija) con alta concentración de alcalinidad total para ese tramo (Figura 15).

Metales en agua

En general las mediciones de metales en las muestras de agua obtenidas en este muestreo cumplen con ser inferiores a los valores de parámetros normados por el Decreto ejecutivo N° 75 del 4 de junio de 2008.

Los resultados reflejan que las concentraciones de metales disueltos en antimonio (Sb), arsénico (As), boro (B), berilio (Be), bismuto (Bi), cadmio (Cd), cromo (Cr), fósforo (P), litio (Li), mercurio (Hg), selenio (Se), plata (Ag), talio (Tl) y titanio (Ti) estuvieron por debajo de los límites de detección (Tabla 8). Mientras tanto los metales que superaron el límite de detección en el muestreo se encuentran en la (Tabla 8).

Tabla 8. Metales disueltos en muestras de agua de los tramos muestreados.

	LD	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rimconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Aluminio Disuelto	0.003	0.093	0.02	0.079	0.055	0.027	0.047	0.017	0.014
Bario Disuelto	0.0006	0.0193	0.0213	0.0159	0.0183	0.015	0.0157	0.0133	0.0145
Bismuto Disuelto	0.0002	0.0028	0.0014	0.0203	0.0085	0.0009	0.0013	0.0002	0.005
Boro Disuelto	0.003	0.008	0.003	0.011	0.003	0.007	0.007	0.003	0.003
Calcio Disuelto	0.1	4.03	4.31	10.43	5.17	6.86	3.86	3.97	2.1
Cobre Disuelto	0.0003	0.0051	0.001	0.0052	0.0031	0.0057	0.0009	0.004	0.0023
Estroncio Disuelto	0.0002	0.03671	0.03094	0.06544	0.04353	0.04379	0.03254	0.02947	0.02644
Hierro Disuelto	0.016	0.196	0.044	0.146	0.176	0.181	0.127	0.135	0.256
Magnesio Disuelto	0.002	1.163	1.138	1.474	1.295	2.618	1.508	1.606	1.557
Manganeso Disuelto	0.0002	0.0115	0.0048	0.0286	0.0138	0.0456	0.0086	0.0223	0.0353
Molibdeno Disuelto	0.0002	0.0024	0.0005	0.0174	0.0048	0.0008	0.0002	0.0005	0.0002
Plomo Disuelto	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Potasio Disuelto	0.02	1.06	0.85	1.21	1.01	0.54	0.65	0.6	0.49
Silicio Disuelto	0.1	6.29	8.53	4.82	8.25	6.56	3.68	5.71	6.1
Sodio Disuelto	0.01	4.57	4.18	4.45	4.84	4.22	3.97	3.3	3.61
Vanadio Disuelto	0.0002	0.0015	0.0002	0.0007	0.0012	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Zinc Disuelto	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.019	0.022	0.008	0.008

Según el análisis de PCA para metales disueltos muestra que el extremo positivo del componente 2 se registró elevadas concentraciones de silicio en los tramos HB-EAD-002 (Ref- Rimconcito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito) (Figura 16).

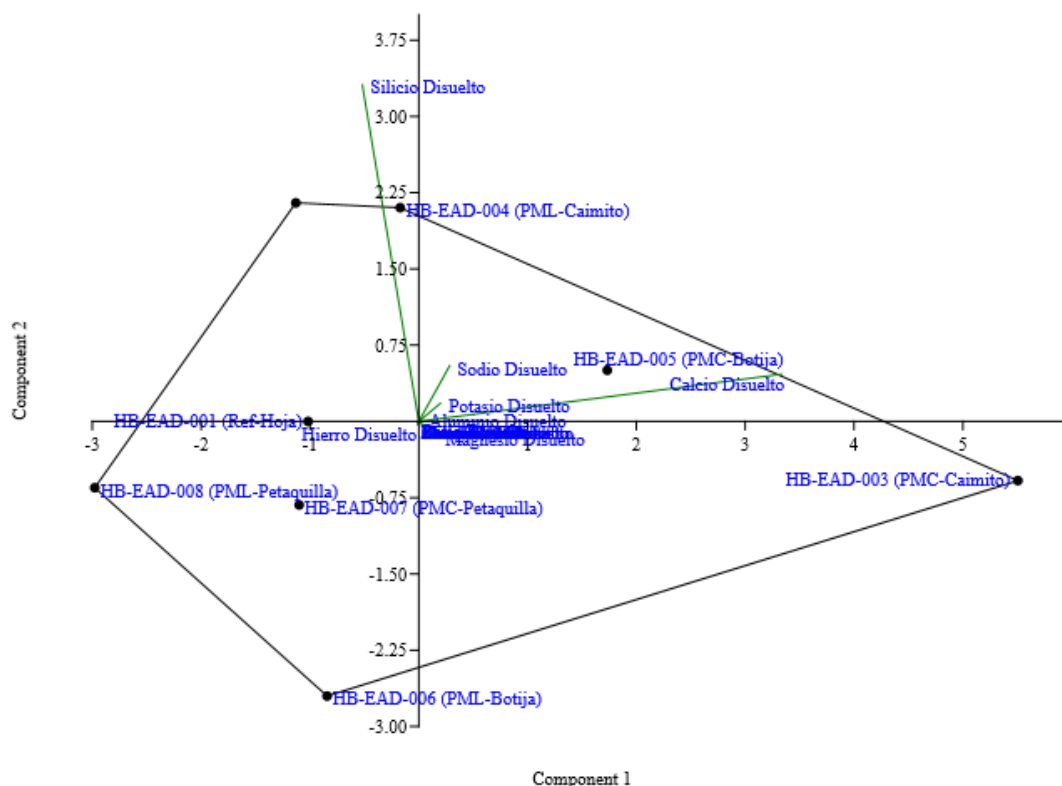


Figura 16. Análisis de PCA para metales disueltos en muestras de agua.

Metales en sedimento

La siguiente tabla indica sólo los metales que sobrepasan el límite de detección según el análisis de metales presentes en las muestras de sedimento recolectadas para este muestreo:

Tabla 9. Valores de metales en sedimentos.

	LD	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Aluminio	2.0	7280	20906	6569	4904	23643	20221	16124	13892
Bario	0.3	33	99.5	17.4	20.8	91.1	93.8	97.9	68.1
Boro	2.0	2	22.1	2	2	38.9	27	27.9	18.6
Calcio	1.5	544.4	2913	559.8	279.1	2523	1474	643	593.5
Cromo	1.0	3.4	10.6	4.5	2.7	188.2	15.7	33.4	20.5
Cobalto	1.0	4	12.8	3.4	2.7	45.6	12.1	18.2	11
Cobre	0.8	25	65.5	28.8	18.1	135.9	47.4	191.3	106.9
Hierro	2.5	7559	27555	8187	7339	53511	36558	51381	31865
Plomo	3.0	3	3	3	3	3	3	14.6	9.7
Magnesio	3.0	864.6	2637	960.7	625.3	7025	5116	3341	3080
Manganeso	2.0	97.1	725.7	196.3	90.6	1077	362.1	1293	603.4
Molibdeno	0.6	0.6	0.6	4.5	0.6	2.3	0.6	10.8	4.2
Níquel	1.0	1	5.5	1.5	1.5	56.8	6.8	7.7	4.8
Fósforo	5.0	107.7	332	142.1	84.9	276.4	377.7	285.5	191.4
Potasio	3.5	223.2	653.7	160.3	148.8	253.7	413.5	558.3	356.4
Sodio	3.0	63.5	344.3	46.5	32.8	171.8	187.1	53.6	36.4
Estroncio	0.7	12.3	29.9	7.8	4	21.9	18.4	8.3	7.5
Titanio	0.4	459.1	886.4	373.2	359.5	914.9	413	388.2	296.4
Vanadio	0.7	48.9	102.7	32.9	40.4	175.8	82	139.1	92.3
Zinc	0.6	16.3	37.7	30.3	12.1	88.3	55.9	113.9	72.6

El componente 1 del PCA para metales en las muestras de sedimento ubica en el extremo positivo a HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito), HB-EAD-005 (PMC-Botija) y HB-EAD-006 (PML-Botija) reflejando elevadas concentraciones de aluminio, y en el negativo al tramo HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito), mientras que en el componente 2 el extremo negativo posiciona a HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla), por último, en su extremo negativo se encuentran los tramos HB-EAD-007 y HB-EAD-008, ubicando altas concentraciones de hierro en el tramo HB-EAD-007 (Figura 16).

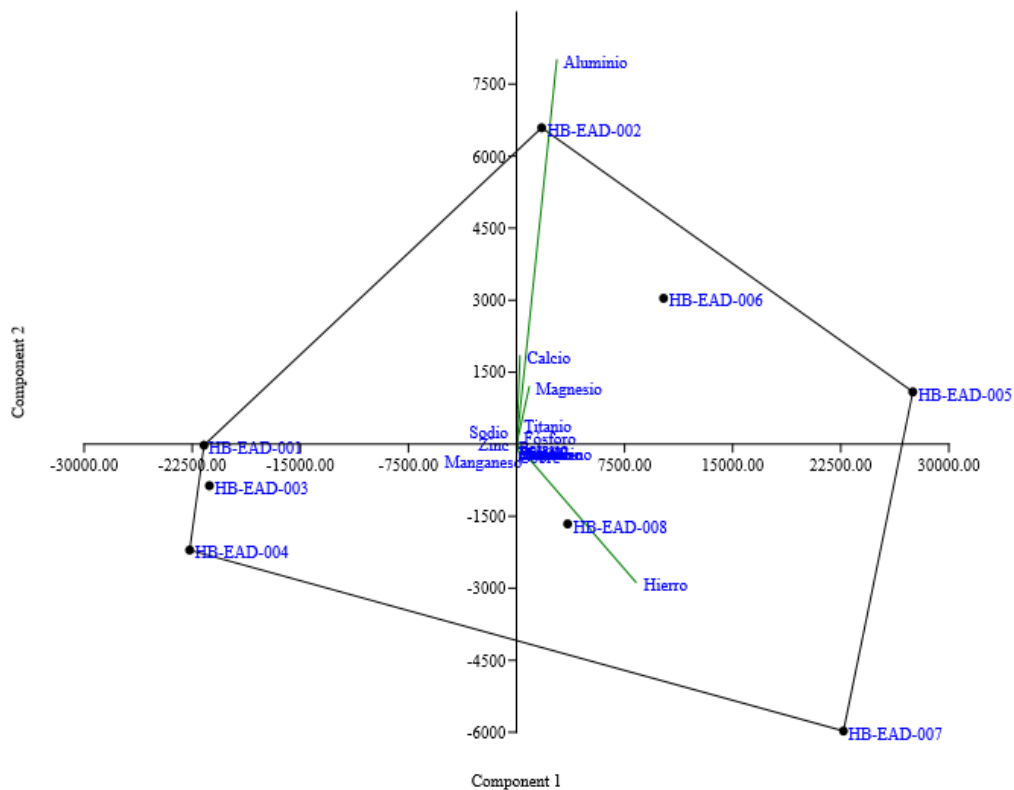


Figura 17. Análisis de PCA para metales en sedimentos.

La ubicación diferencial de estaciones entre el análisis de variables no metálicas con estos dos análisis de metales disueltos y totales parece evidenciar que el origen de los metales no está relacionada con la ubicación de los sitios de monitoreo con respecto a su influencia con la mina, ya que si uno y otros tuvieran el mismo origen la ordenación de las estaciones en el plano cartesiano debería ser coincidente.

Perifiton

El grupo de las Bacillariophytas obtuvo la mayor representación de riqueza de taxas para todas las estaciones, seguido de otros grupos como el de las Cyanophytas, Charophytas y Chlorophytas, que se presentaron en menor proporción.

Los valores más altos de riqueza de taxas fueron encontrados para HB-EAD-001 (Ref- Hoja) y HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito) con resultados de 19 y 21 géneros, seguidos por HB-EAD-003 (PMC-Caimito), EAD-005 (PMC-Botija), HB-EAD-006 (PML-Botija) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) con valores entre 11 y 13, y finalmente se obtuvieron los valores más bajos para HB-EAD-004 (PML-Caimito) y HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) con 9 taxas. En general, se observó un comportamiento dominante de uno o dos taxas en cada una de las estaciones de muestreo, tal es el caso de *Synedra sp.*, que se presentó en HB-EAD-003 (PMC-Caimito), HB-EAD-005 (PMC-Botija), HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla), HB-EAD-008 (PML-Petaquilla), y de *Nitzschia sp.*, en la estación HB-EAD-001 (Tabla 10). Ambos géneros considerados como bioindicadores sugieren que las aguas conservan atributos mesotróficos, derivados de un moderado grado de contaminación orgánica.

El taxa *Lyngbya sp.*, que predominó para los puntos HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito), revela características que denotan enriquecimiento de nutrientes. mientras que la estación HB-EAD-006 (PML-Botija), presentó mayor abundancia de *Gomphonema sp.*, asociado a efectos de aumento de sedimentos y conductividad alta, seguido de *Spirogyra sp.*, que da indicios de una acumulación o enriquecimiento puntual de materia orgánica debido a la presión antrópica en el caso del punto lejano Botija (HB-EDA-006) con alta modificación de su cuenca y cauce por las poblaciones aledañas a su cauce. Dichas condiciones pueden afectar la reducción de la profundidad, y la calidad del sustrato, limitando a su vez, la penetración de la luz solar en la columna de agua, lo que impide el crecimiento equilibrado de las algas, causando dominancias de taxas.

Se registraron 31 taxas en su totalidad y entre puntos de muestreo la riqueza (S) obtuvo un rango entre 9 y 21 taxas y una densidad desde 1937 Ind/cm² (HB-EAD-008) (PML-Petaquilla) hasta 18447 Ind/cm² (HB-EAD-007) (PMC-Petaquilla) (Tabla 10).

Tabla 10. Registro de genero de microalgas asociadas a perifiton

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO/Morfoespecie	HB-EAD-001 (Ref- Hoja)	HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC- Caimito)	HB-EAD-004 (PML- Caimito)	HB-EAD-005 (PMC- Botija)	HB-EAD-006 (PML- Botija)	HB-EAD-007 HB-EAD-007 (PMC- Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML- Petaquilla)
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp</i>	300	203	0	1	158	233	303	235
Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia sp</i>	4	7	2	1	0	4	3	9
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp</i>	111	13	10	1	16	32	3	6
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp</i>	0	11	302	6	306	48	152	154
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Encyonema sp</i>	5	4	0	0	4	24	80	40
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp</i>	14	1	3	0	1	0	3	0
<u>Mastogloiales</u>	<u>Achnanthaceae</u>	<i>Achnanthes sp</i>	0	1	0	0	3	9	22	1
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp</i>	1	1	4	4	0	20	0	3
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp</i>	8	16	7	3	9	184	6	18
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella sp</i>	7	1	1	0	0	0	0	0
Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp</i>	24	2	3	0	0	1	0	0
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis sp</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis sp</i>	8	2	0	0	1	1	0	0
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia sp</i>	3	1	0	0	0	0	0	0
Naviculales	Neidiaceae	<i>Neidium sp</i>	1	2	0	0	0	0	0	0
Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosira sp</i>	0	4	0	0	0	0	0	0
Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp</i>	2	2	3	0	3	38	28	50
Zygnematales	Mesotaeniaceae	<i>Netrium sp</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp</i>	0	4	1	2	0	0	0	0
Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>lyngbya sp</i>	16	312	3	309	8	0	0	0
Nostocales	Rivulariaceae	<i>Rivularia sp</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
Anaulales	Anaulaceae	<i>Terpsinoë sp</i>	8	0	0	0	0	0	0	0
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella sp</i>	3	0	0	0	0	6	0	0
Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura sp</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Frustulia sp</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra sp</i>	0	0	9	1	52	76	0	18
Naviculales	Naviculaceae	<i>caloneis sp</i>	0	0	0	0	2	0	0	0
Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Zygnema sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	47
Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Bulbochaete sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 11. Principales índices descriptores de biodiversidad de algas que componen el perifiton de las muestras.

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Taxa_S	18	21	12	9	12	13	9	11
Individuals/cm ²	5036	2173	9206	2159	9877	2141	18447	1937
Dominance_D	0.3863	0.3986	0.7555	0.8881	0.3841	0.2184	0.3407	0.2548
Simpson_1-D	0.6137	0.6014	0.2445	0.1119	0.6159	0.7816	0.6593	0.7452
Shannon_H	1.466	1.286	0.6767	0.3278	1.269	1.833	1.351	1.682
Evenness_e^H/S	0.2407	0.1723	0.1639	0.1542	0.2965	0.4809	0.4291	0.4888
Brillouin	1.409	1.235	0.6282	0.2966	1.233	1.793	1.322	1.643
Menhinick	0.7909	0.8638	0.6433	0.4969	0.5057	0.5	0.3674	0.4564
Margalef	2.72	3.134	1.88	1.381	1.737	1.842	1.251	1.571
Equitability_J	0.5073	0.4224	0.2723	0.1492	0.5108	0.7146	0.615	0.7014
Fisher_alpha	3.622	4.249	2.41	1.711	2.155	2.283	1.502	1.925
Berger-Parker	0.5792	0.5279	0.8678	0.9421	0.5435	0.3447	0.505	0.4045
Chao-1	19	24.5	12.5	12	12.5	14	9	11

El dendrograma de similitud con el índice de Bray-Curtis muestra la relación de los diferentes grupos taxonómicos que se encontraron en el muestreo (Figura 17). En donde ubica a los tramos en función de su semejanza en la abundancia y cantidad de especies por cada sitio, entre los que se distinguen en este muestreo por su similitud los pares de tramos HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) /HB-EAD-008 (PML-Petaquilla), HB-EAD-003 (PMC-Caimito)/HB-EAD-005 (PMC-Botija) y el par HB-EAD-004 (PML-Caimito)/HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito), con similitud superior a 0.60. El tramo HB-EAD-001 (Ref-Hoja) se encuentra aislado al resto de los tramos muestreados.

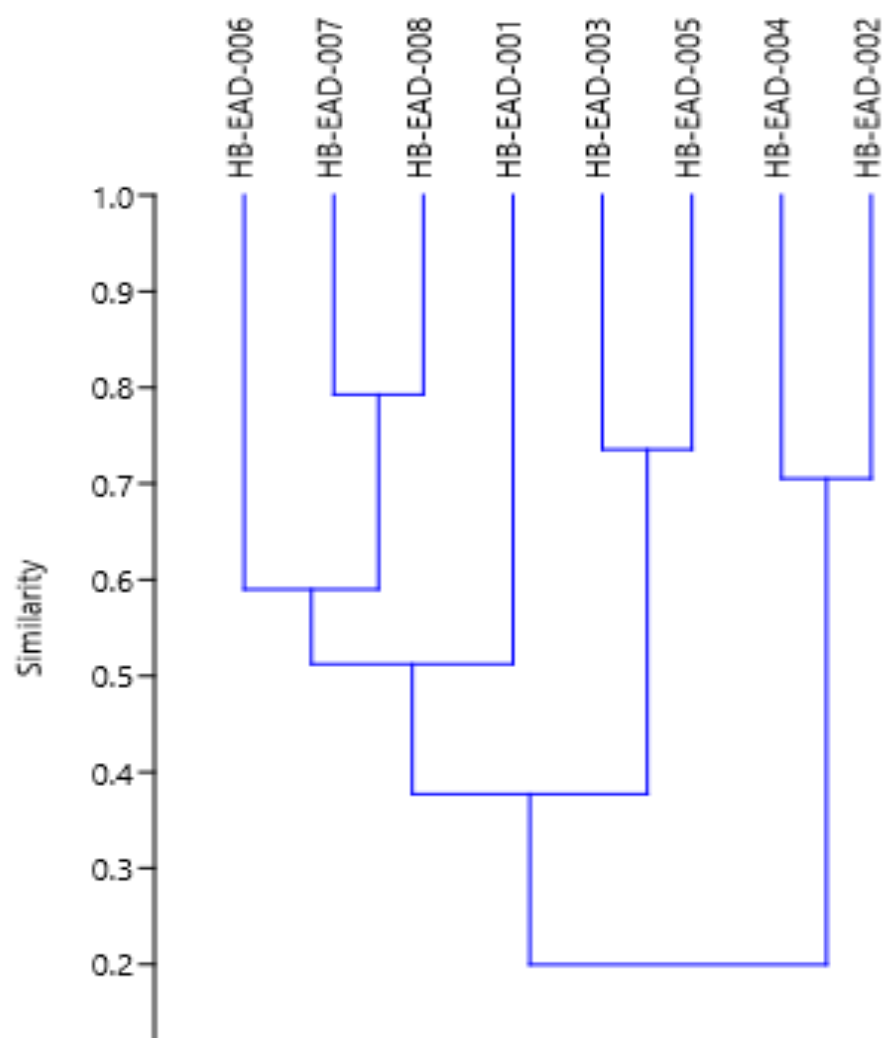


Figura 18. Dendrograma utilizando el método de aglomeración UPGMA con el índice Bray Curtis, para la composición taxonómica de algas perifíticas en las muestras.



Figura 19. Registro fotográfico de algunos taxas registrados en el área de estudio.

A) *Zygnema* sp. B) *Terpsinoë* sp. C) *Lyngbya* sp. D) *Pinnularia* sp. E) *Gyrosigma* sp. F) *Synedra* sp.

Macroinvertebrados acuáticos

Durante este muestreo se recolectaron 2,210 individuos correspondientes a 77 géneros distribuidos en 33 familias de macroinvertebrados acuáticos (Tabla 12).

Tabla 12. Cantidad de individuos por taxón y localidad de macroinvertebrados acuáticos.

Orden	Familia	HB-EAD-001 (Ref- Hoja)	HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC- Caimito)	HB-EAD-004 (PML- Caimito)	HB-EAD-005 (PMC- Botija)	HB-EAD-006 (PML- Botija)	HB-EAD-007 HB- EAD-007 (PMC- Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML- Petaquilla)
Coleoptera	Elmidae	9	2	4	10	43	35	38	27
Coleoptera	Psephenidae	0	1	0	2	27	8	10	2
Coleoptera	Ptilodactylidae	23	1	0	0	22	3	39	13
Decapoda	Atyidae	0	0	0	0	3	0	2	0
Decapoda	Palaemonidae	0	39	21	149	0	1	0	1
Diptera	Ceratopogonidae	0	0	0	0	1	0	0	0
Diptera	Chironomidae	6	3	32	3	43	5	25	3
Diptera	Simuliidae	4	0	1	2	7	0	4	6
Diptera	Tipulidae	3	1	0	0	1	5	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	0	8	4	10	49	87	29	7
Ephemeroptera	Caenidae	0	0	6	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Heptageniidae	0	0	0	0	2	0	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	0	11	2	15	103	33	47	14
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	0	17	5	7	23	3	44	5
Gastropoda	Neritidae	0	4	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Thiaridae	0	0	31	0	0	0	0	5

Orden	Familia	HB-EAD-001 (Ref- Hoja)	HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC- Caimito)	HB-EAD-004 (PML- Caimito)	HB-EAD-005 (PMC- Botija)	HB-EAD-006 (PML- Botija)	HB-EAD-007 HB- EAD-007 (PMC- Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML- Petaquilla)
Hemiptera	Gerridae	1	0	0	0	0	0	0	0
Hemiptera	Naucoridae	0	0	0	0	2	1	13	0
Lepidoptera	Crambidae	0	0	5	2	0	0	0	0
Megaloptera	Corydalidae	2	1	0	0	6	0	2	0
Odonata	Calopterygidae	1	0	0	0	2	0	0	0
Odonata	Coenagrionidae	0	1	1	0	29	2	0	0
Odonata	Gomphidae	1	0	2	0	9	1	10	16
Odonata	Heteragrionidae	0	1	2	0	11	0	3	3
Odonata	Libellulidae	2	0	0	0	2	0	1	0
Odonata	Platystictidae	4	2	1	2	3	3	1	1
Odonata	Polythoridae	1	0	0	0	1	0	1	0
Plecoptera	Perlidae	3	0	0	0	45	2	1	3
Tricoptera	Hydropsychidae	71	26	0	39	181	5	57	20
Tricoptera	Hydroptilidae	0	1	0	0	2	0	0	0
Tricoptera	Leptoceridae	1	2	0	1	10	0	3	2
Tricoptera	Philopotamidae	8	1	0	0	245	28	34	2
Tricoptera	Polycentropodidae	0	0	1	0	0	0	0	0
Total		140	122	118	242	872	222	364	130

El total de individuos recolectados en cada tramo se presentan en la tabla 12 segregados por orden y familia (orden alfabético). En el anexo se presenta la densidad al mínimo nivel taxonómico que fue posible identificar los macroinvertebrados recolectados.

A nivel de orden, Trichoptera fue el orden con mayor abundancia en todos los sitios y representó el 33% de las colectas de macroinvertebrados en este muestreo (Figura 19).

El orden Trichoptera es uno de los órdenes más diversos de macroinvertebrados, son holometábolos y habitan en aguas limpias y oxigenadas, aunque aquellas que portan casitas a veces prefieren ambientes lénticos. Tanto este orden, como el orden Ephemeroptera, en su mayoría son raspadores y recolectores, con muy pocos géneros predadores; son constituyentes biológicos fundamentales en la cadena trófica y del equilibrio de los ecosistemas acuáticos, tanto en su estado larval, aportando biomasa y procesando materia orgánica, como en su estado adulto, aportando energía al ecosistema al ser presas principales de múltiples organismos terrestres.

El segundo orden más abundante durante este muestreo fue Ephemeroptera, representando el 24% de las colectas y por sus características biológicas y ecológicas, forma junto a Ephemeroptera y Plecoptera un conjunto de órdenes que son utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua.

Estos dos órdenes componen el 57.5% de la muestra, el 42.5% restante estuvo compuesto por 9 órdenes de macroinvertebrados acuáticos representados por Coleoptera (14.4%), Decapoda (9.8%), Diptera (7%), Odonata (5.4%), Plecoptera (2.4%), Gastropoda (1.8%) y Lepidoptera, Hemiptera y Megaloptera con menos del 1% de representación cada una.

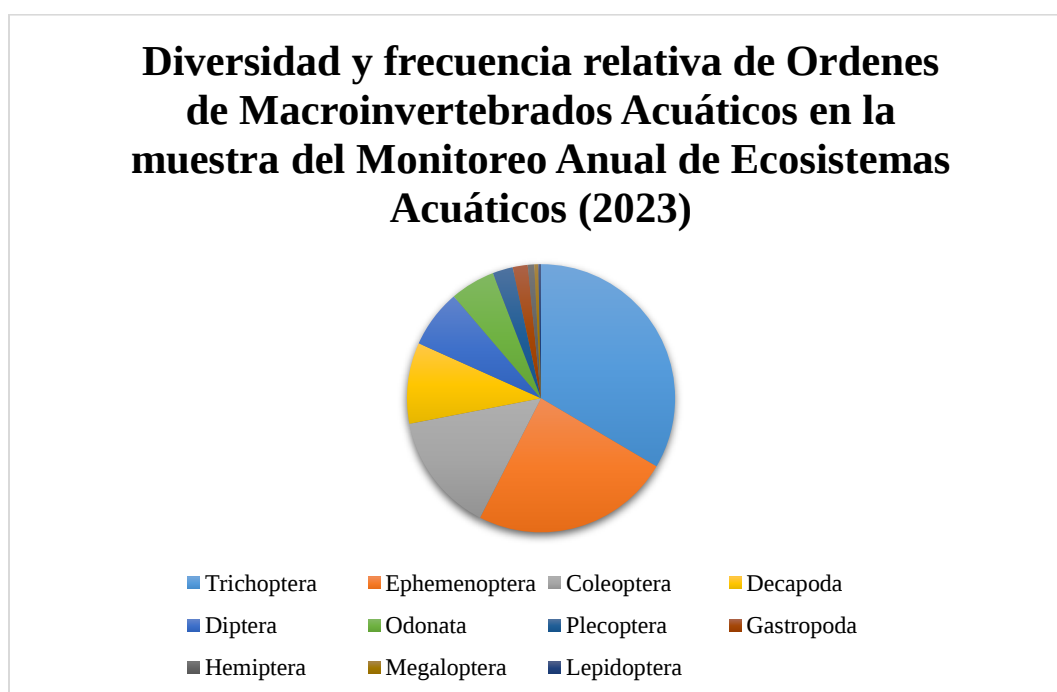


Figura 20. Gráfico mostrando la abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras.

Las familias mejor representadas del orden Trichoptera fueron Hydropsychidae (n=399), Philopotamidae (n=318), las otras dos familias presentes fueron Leptoceridae (n=19) Hydroptilidae (n=3) y Polycentropodidae (n=1).

Respecto al orden Ephemeroptera, las familias con mayor abundancia fueron Leptohyphidae (n=225), Baetidae (n=194), Leptophlebiidae (n=104) y Caenidae (n=6), estas tres familias componen el total de las familias presentes.

El orden Coleoptera estuvo representado por tres familias, de las cuales la más abundante fue Elmidae (n=168) seguido de Ptilodactylidae (n=101) y Psephenidae (n=50) estas familias suman el total de la muestra de Coleoptera.

En el Análisis de Componentes Principales (PCA) a nivel de género permite, por una mayor resolución taxonómica, comprender las diferencias y similitudes entre los sitios muestreados utilizando el ensamble de comunidades de macroinvertebrados acuáticos como variables.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, a través del Análisis de Componentes Principales (Figura 20) se presenta de forma clara la variabilidad en cuanto a la diversidad de datos obtenidos. Se observa hacia el centro del gráfico se encuentran agrupados el 90% de los géneros presentes, la mayoría de ellos que por su baja abundancia están agrupados en el centro de la gráfica no tienen una mayor representatividad, o no caracterizan los sitios muestreados.

Los géneros que por su abundancia marcan una diferencia entre los sitios están representadas dentro del casco convexo, retiradas del grupo y estos son camarones del género *Macrobrachium* muy frecuentes en HB-EAD-004 (PML-Caimito), los efemerópteros *Thraulodes*, *Leptohyphes* y los tricópteros del género *Chimarra* y *Leptonema*.

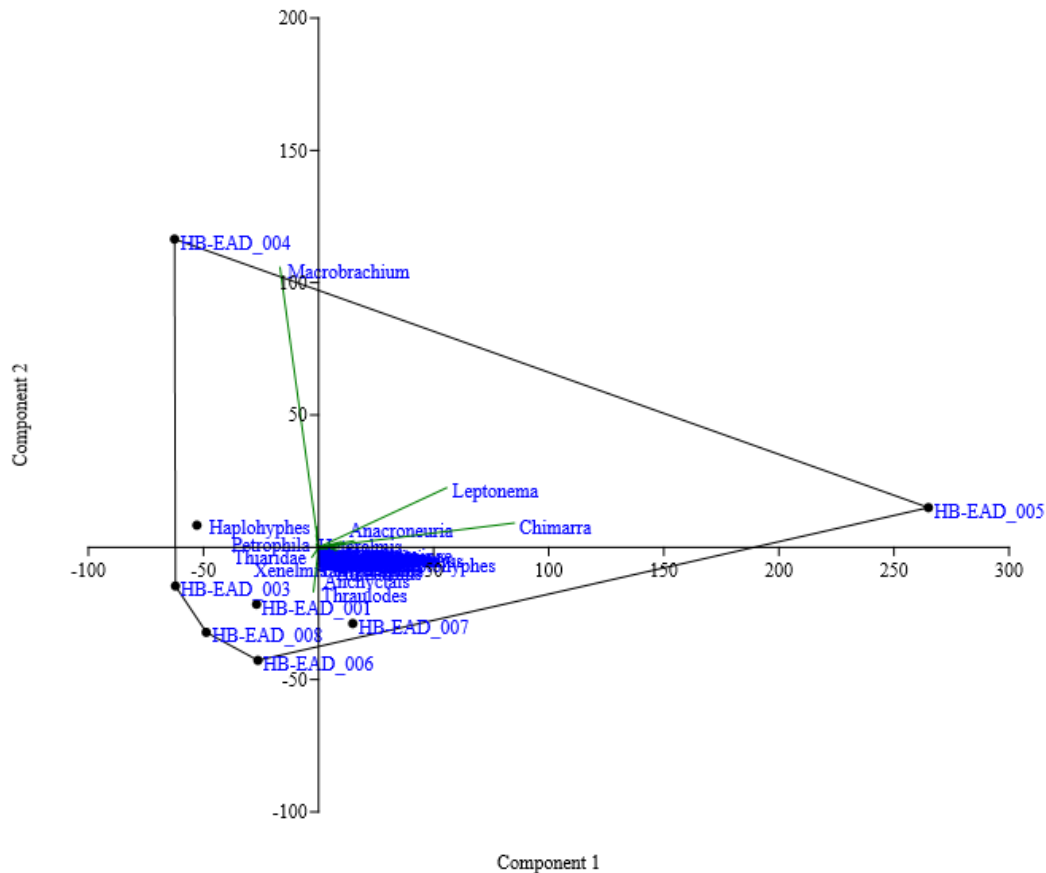


Figura 21. Gráfica del PCA de macroinvertebrados acuáticos.

El componente principal 1 explica el 74% de las diferencias entre los sitios muestreados y está conformado por los géneros *Chimarra*, *Leptonema*, *Leptohyphes*, y *Thraulodes*, por otra parte, el Componente Principal 2 explica el 16% de las diferencias que corresponden principalmente al crustáceo del género *Macrobrachium*.

El análisis de agrupamiento utilizando el método UPGMA y el índice de similaridad de Bray Curtis no presentan similitud superior al 50% (Figura 21).

En consecuencia, no es posible agrupar los sitios de referencia o los de muestreo cercano y lejano en función de los géneros de macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras recolectadas.

Teniendo en cuenta que los invertebrados son bioindicadores de la calidad del agua y el hecho de no existir un ordenamiento diferencial de estaciones es posible deducir que la mina no es un generador de modificaciones en la calidad del agua que afecte su biodiversidad del lecho de estos ríos y arroyos.

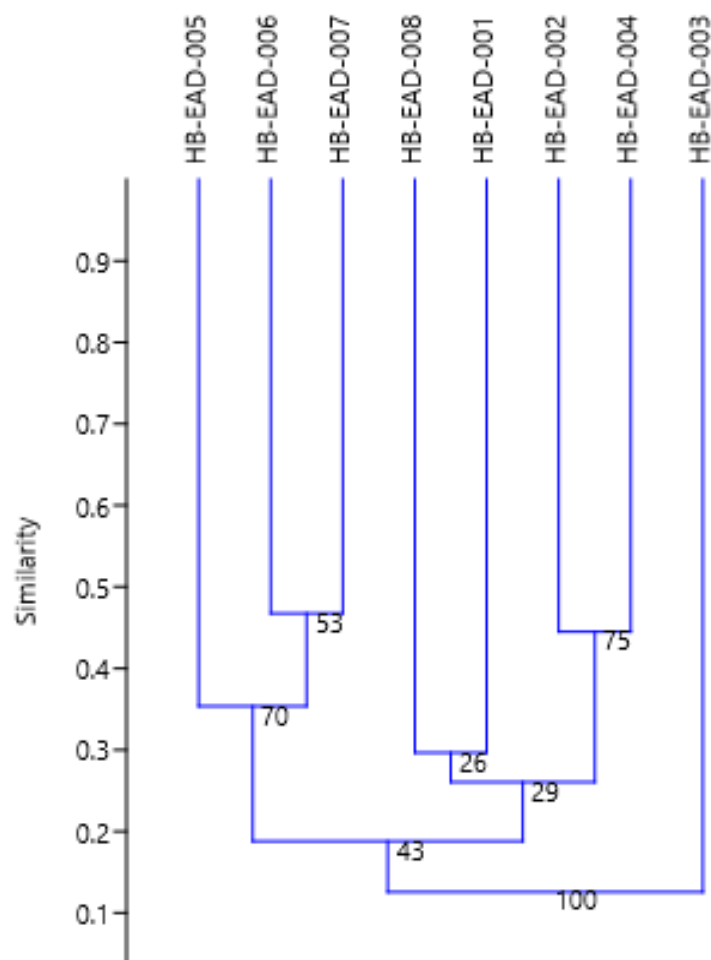


Figura 22. Árbol de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis para macroinvertebrados.

BMWP/PAN

Como se ha comentado el índice BMWP se origina en Inglaterra donde el mayor generador de cambios en las comunidades del fondo era en los años 1990 la contaminación con materia orgánica de los ríos ingleses. En Panamá y en particular en los ríos de la región del Donoso el mayor modificador de las comunidades del fondo es el arrastre ocasionado por los constantes y abruptos aumentos de caudal generado por las fuertes lluvias que anualmente suman 6500 mm/m² y que pueden superar los 100 mm/m² hora.

En tal sentido los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican más que contaminación estabilidad reciente del hábitat. Así el sitio HB-EAD-005 (PMC-Botija) obtuvo el mejor puntaje (105), asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad el HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) (91) y el resto de los sitios presentaron un valor de BMWP/PAN menor a 78 que corresponde a calidad de

agua regular según este índice dado que su muestreo ocurrió posterior a fuertes lluvias extemporáneas para un supuesto periodo de bajas precipitaciones.

Los tramos con índices más bajos fueron el sitio de referencia de HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-006 (PML-Botija) (Figura 22).

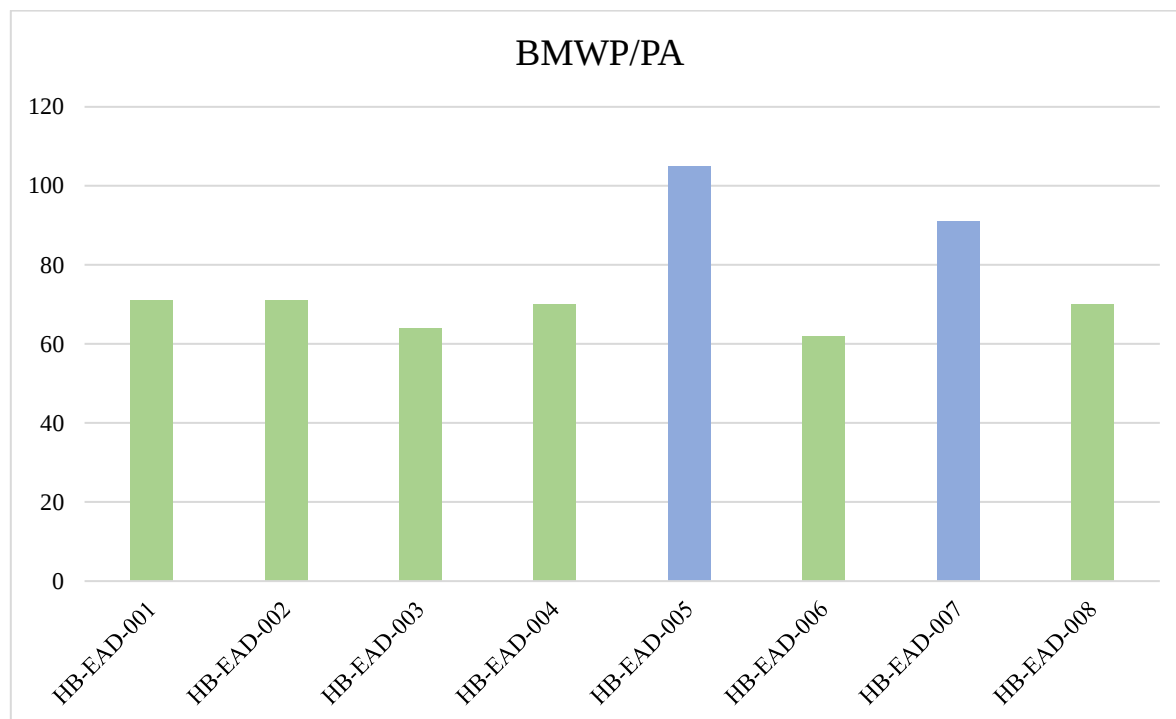


Figura 23. Índice BMWP/PAN estimado para los sitios muestreados.

Un análisis comparativo de este índice a partir de datos de 2021 al 2023 (Figura 23), indica que el comportamiento ha variado poco en un ámbito general entre los sitios, sin embargo, es posible identificar algunas tendencias, por ejemplo, el sitio HB-EAD-005 (PMC-Botija) registró un puntaje menor con respecto al muestreo del 2022, otros sitios registraron índices similares.

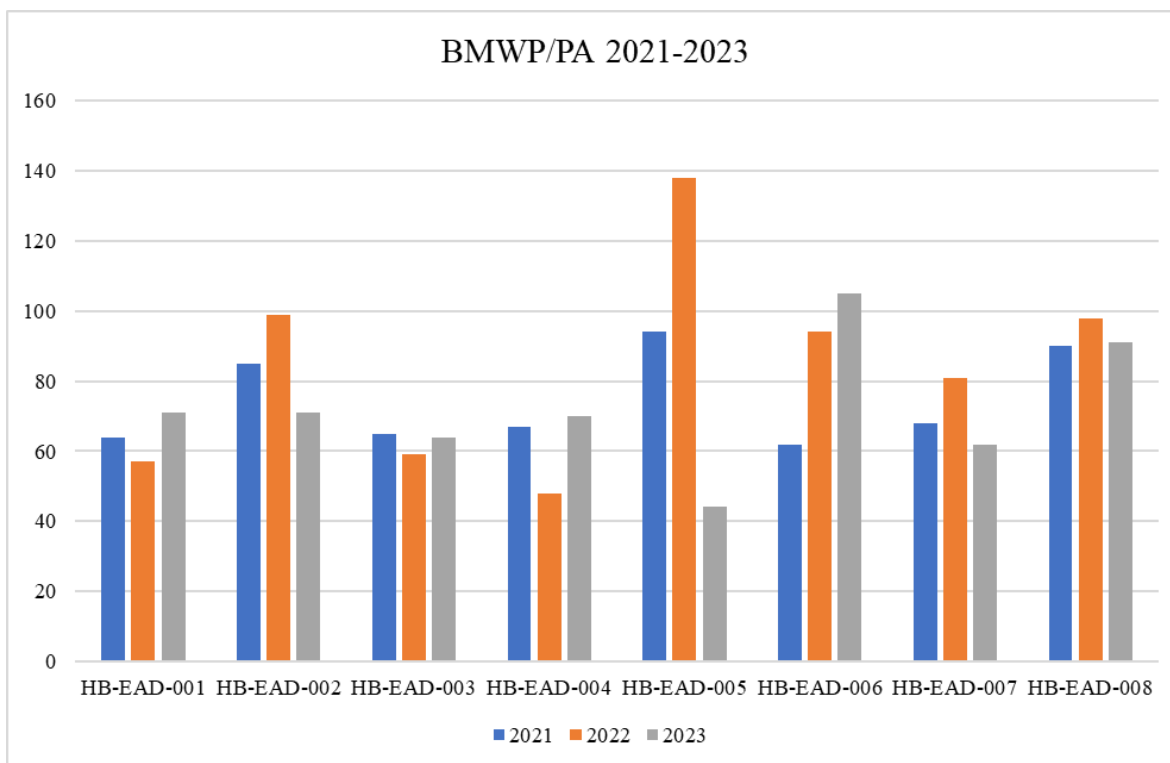


Figura 24. Variación anual del índice BMWP por sitio de muestreo.

Estos cambios en la composición de las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en los cuerpos de agua pueden deberse a ciclos biológicos anuales, que normalmente corresponden a variaciones en el régimen de lluvias, aporte de sedimentos o cambios de las actividades humanas en su cuenca.

Diversidad de peces

Se recolectaron 1371 individuos correspondientes a 27 especies de peces de agua dulce y tolerantes a aguas salobres. La curva de rarefacción de la muestra indica que los tramos HB-EAD-001 (Ref- Hoja), HB-EAD-003 (PMC-Caimito), HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) no alcanzaron la asíntota, es decir, no fueron colectadas todas las especies que se esperan según los estimadores no paramétricos utilizados para estimar la riqueza de especies esperadas durante el muestreo de cada tramo (Figura 24).

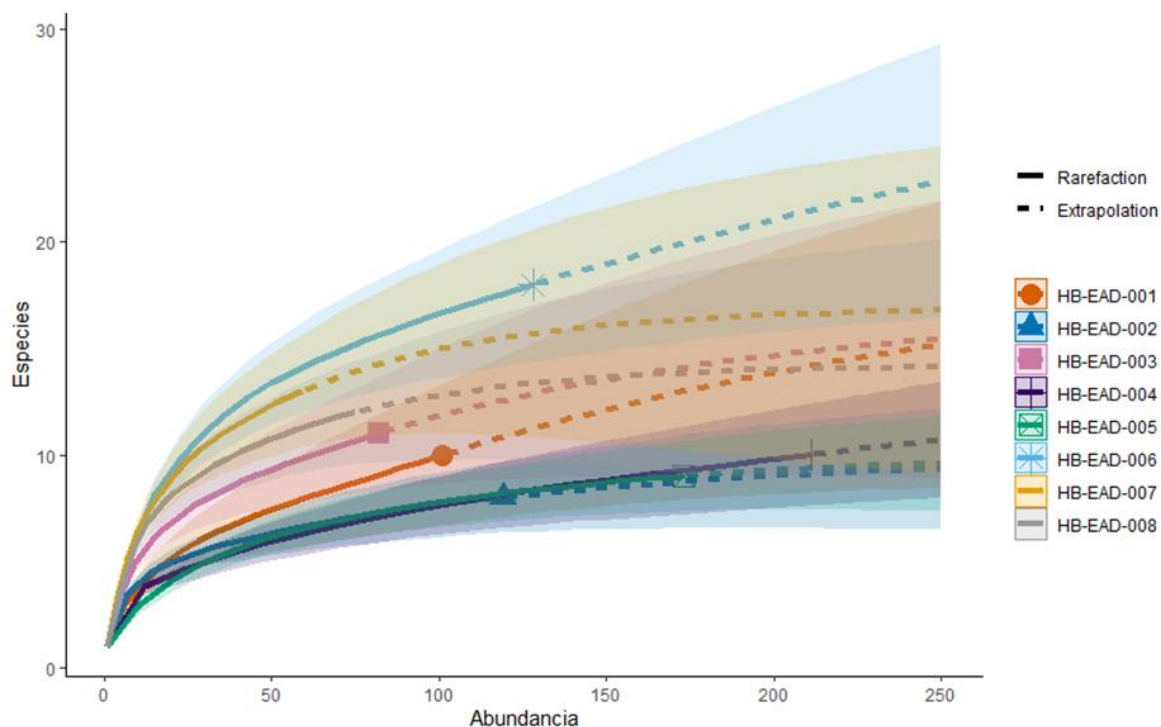


Figura 25. Curva de rarefacción obtenida para este muestreo de peces.

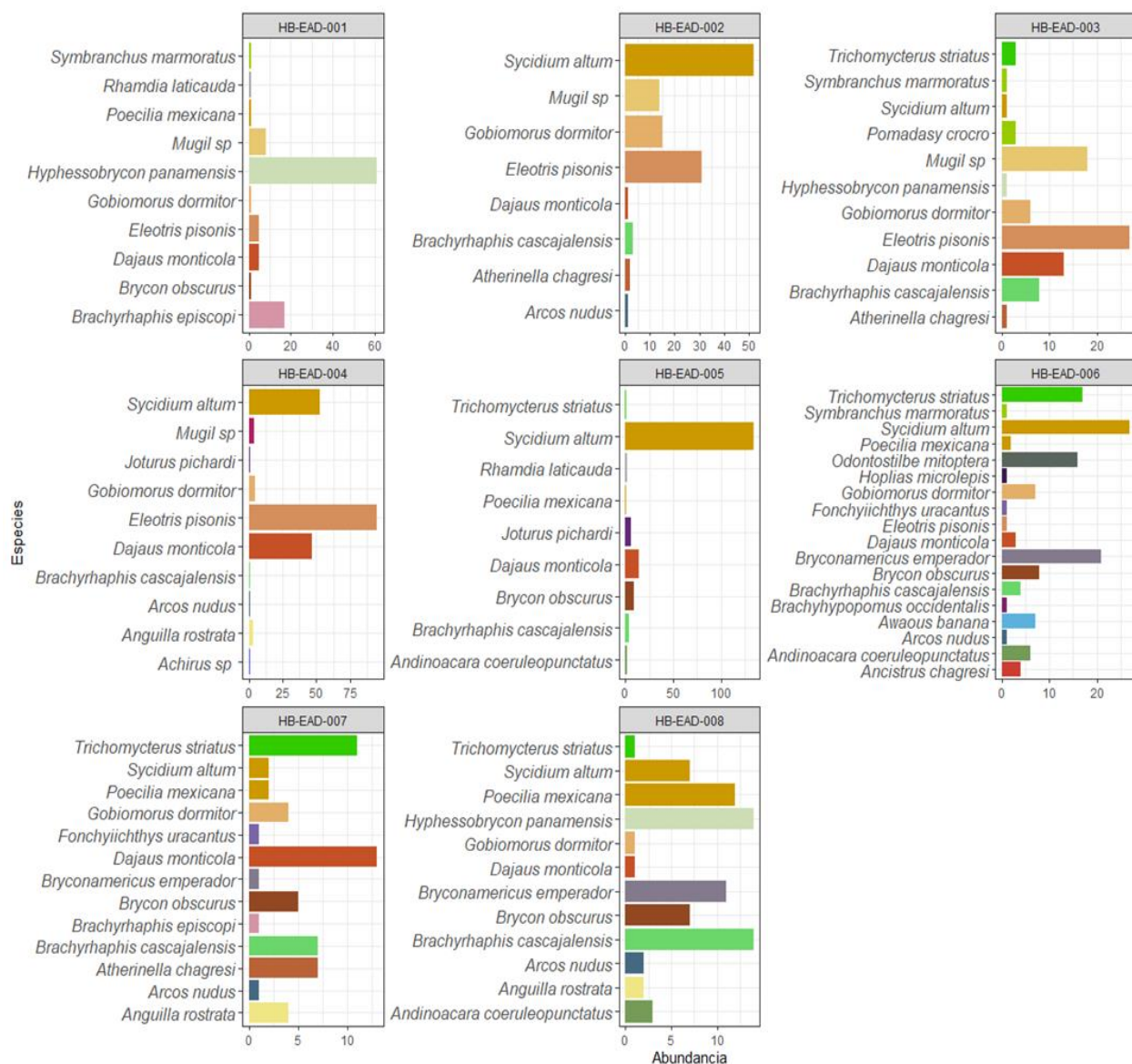


Figura 26. Abundancia de especies de peces registradas.

La mayor captura de especies se registró en el tramo HB-EAD-006 (PML-Botija) ($S=18$), seguido de HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) ($S=13$), la menor riqueza se reporta en los tramos HB-EAD-002 (río Rinconcito) con 8 especies y HB-EAD-005 (PMC-Botija) con 9 especies.

Las colectas con mayor cantidad de individuos (n) fue registrada en el punto HB-EAD-006 (PML-Botija) ($n=353$) con dominancia del pez migratorio *Sycidium altum* con 207 individuos.

El índice de diversidad de Shannon (H') refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa.

Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad¹.

En tal sentido los valores registrados siguen siendo los históricamente registrados en todos los tramos de baja riqueza siendo el mayor valor el obtenido en HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) ($H' = 2.28$), seguido del tramo HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) ($H' = 2.17$) y el menor en HB-EAD-005 (PMC-Botija) ($H' = 0.92$).

En comparación con el muestreo anterior un cambio evidente en la diversidad de peces se presenta en el tramo HB-EAD-005 (PMC-Botija) que presenta, en esta ocasión, un índice de Shannon inferior a los registrados durante el muestreo los años 2018 a 2022. Los tramos del río Petaquilla (HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) mantienen el valor máximo registrado del índice de Shannon para este muestreo.

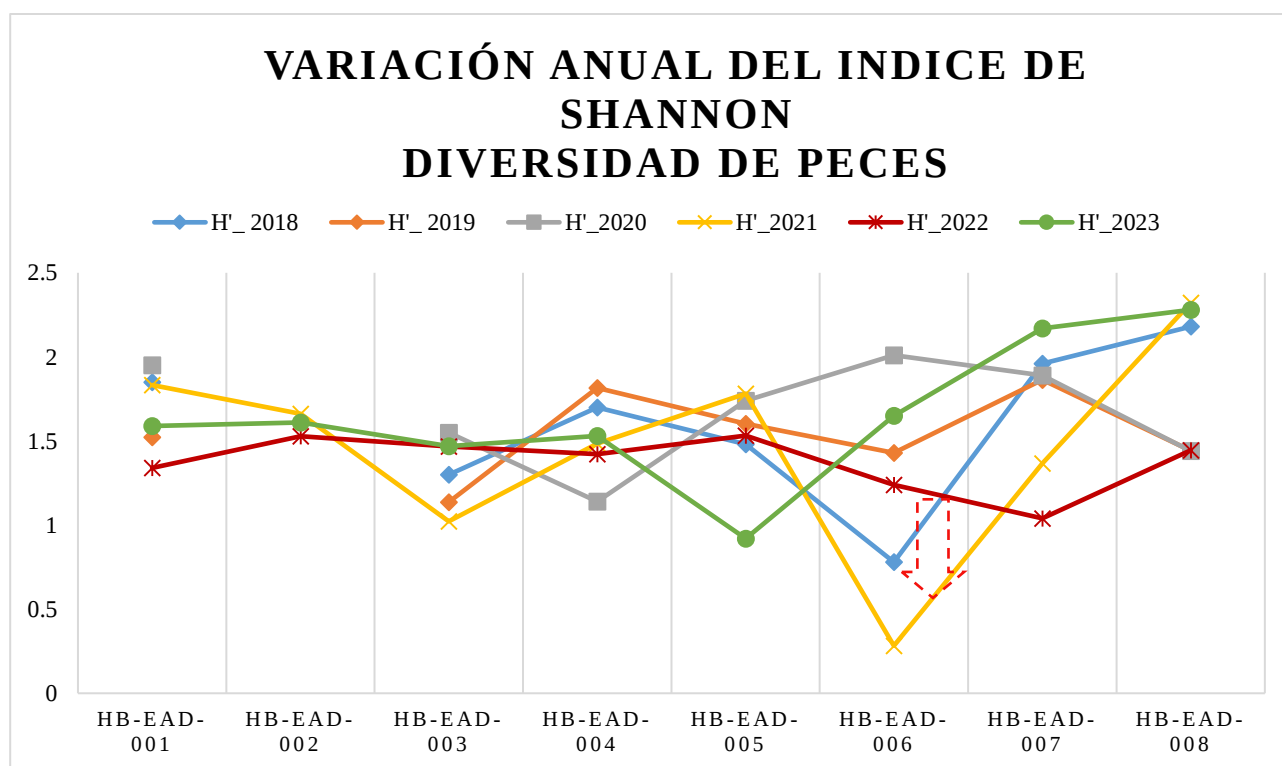


Figura 27. Gráfico líneas indicando la variación del Índice de diversidad de Shannon a través de tiempo para cada sitio muestreado.

Tabla 13. Índices de diversidad biológica de peces por sitio muestreado.

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PMC-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Taxa_S	10	8	11	10	9	18	13	12
Individuals	119	128	181	247	173	353	77	93
Dominance_D	0.3056	0.2563	0.3627	0.257	0.6113	0.3641	0.1439	0.1125
Simpson_1-D	0.6944	0.7437	0.6373	0.743	0.3887	0.6359	0.8561	0.8875
Shannon_H	1.605	1.593	1.467	1.53	0.9215	1.651	2.17	2.28
Evenness_e^H/S	0.4978	0.6146	0.3942	0.4618	0.2792	0.2896	0.6735	0.8151
Brillouin	1.482	1.494	1.376	1.468	0.8509	1.57	1.939	2.08
Menhinick	0.9167	0.7071	0.8176	0.6363	0.6843	0.958	1.481	1.244
Margalef	1.883	1.443	1.924	1.634	1.552	2.898	2.763	2.427
Equitability_J	0.6971	0.7659	0.6118	0.6645	0.4194	0.5713	0.8459	0.9177
Fisher_alpha	2.601	1.892	2.579	2.092	2.016	4.01	4.482	3.668
Berger-Parker	0.5126	0.4063	0.5691	0.3846	0.7746	0.5864	0.2597	0.1505
Chao-1	13	8	14	16	9.333	33	16	12

El análisis de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis agrupa los tramos en función de su semejanza en la abundancia y cantidad de especies por sitio, este análisis agrupo a los tramos HB-EAD-003 (PMC-Caimito), HB-EAD-004 (PML-Caimito) y HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito) en un conjunto separado de los demás entre los que se distinguen por su similitud los pares de sitios HB-EAD-005 (PMC-Botija) / HB-EAD-006 (PML-Botija) y el par HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) /HB-EAD-008 (PML-Petaquilla), el tramo HB-EAD-001 (Ref-Hoja) aparece aislado y diferente al resto de los sitios muestreados (Figura 27).

Los datos obtenidos no permiten separar los tramos que corresponden a los puntos de monitoreo lejano, puntos de monitoreo cercano y sitios de referencia en función de la diversidad de peces presentes en las muestras. En tal sentido es posible afirmar que la actividad de la mina no genera un efecto que se manifieste en cambios en la biodiversidad de las estaciones de muestreo dada la similitud entre sectores sin y con diferentes grados de relación con la actividad de Cobre Panamá.

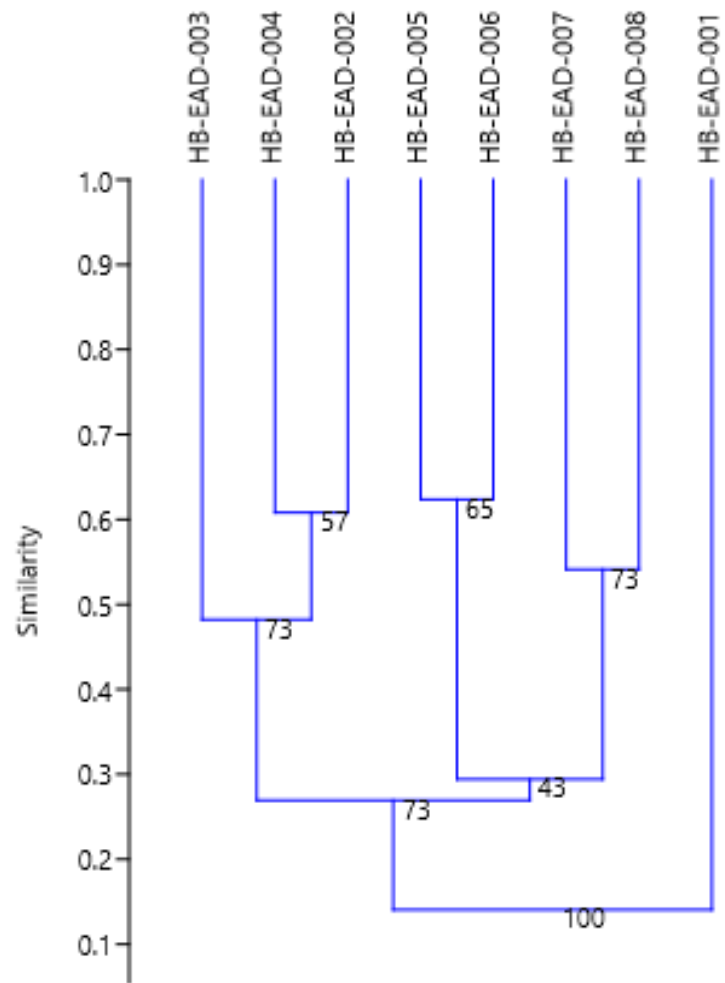


Figura 28. Árbol de agrupamiento por índice de similaridad Bray Curtis para peces.

Conclusiones

Los Índices de calidad de hábitat fluvial (IHF) y calidad biológica del agua (BMWP/PAN) así como los indicadores de biodiversidad para peces, macroinvertebrados y algas perifíticas en 8 sitios ubicados en un gradiente de distancias con respecto al Proyecto Mina de Cobre Panamá indican que las estaciones están en el rango de óptimo a subóptimo y por ende la mina no genera efecto en su condición ecológica

Como se estableció al inicio del documento los sistemas que hacen parte del Monitoreo Hidrobiológico reciben de manera natural y recurrente la escorrentía de sedimentos con carga naturales de metales dada su historia y condiciones geológicas particulares, de tal manera que posee una fauna adaptada a esas condiciones fluctuantes.

Los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican más que contaminación orgánica el efecto físico de las crecientes y la consecuente disponibilidad de hábitat. Por ello el sitio HB-EAD-005 (PMC-Botija) obtuvo el mejor puntaje asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad estuvieron los sitios HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla), mientras que el resto de los sitios presentan calidad de agua regular dado su muestreo durante lluvia fuertes extemporáneas para el periodo de bajas lluvias en el que se desarrolló este muestreo.

Salvo el tramo HB-EAD-005 (PMC-Botija) los muestreos de peces muestran estabilidad temporal y similaridad especial entre tramos de referencia y con influencia cercana y lejana de la mina. Los tramos del río Petaquilla (HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla) y HB-EAD-008 (PML-Petaquilla) mantienen el valor máximo registrado del índice de Shannon para este muestreo.

Los análisis de calidad de agua de los ríos en los tramos de muestreos cumplen con Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo.

Algunas diferencias entre los tramos se observan en parámetros fisicoquímicos como los sólidos totales suspendidos elevados en los tramos HB-EAD-001 (Ref-Hoja), HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-004 (PML-Caimito), además de la presencia de iones de Cl⁻ y SO₄²⁻ los cuales superaron el límite de detección en todos los tramos. También se observó mayor concentración de calcio junto con la conductividad eléctrica del agua más elevada con respecto a los demás tramos en los sitios HB-EAD-003 (PMC-Caimito) y HB-EAD-005 (PMC-Botija).

Bibliografía

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D & Stribling, J. B. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish*. Second Edition. EPA. 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of water. Washington, D.C. USA.

Benetti, C.J., Michat, M.C., Archangelsky, M. 2018. Chapter 15: Order Coleoptera. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Volume III – *Keys to Neotropical Hexapoda*. Academic Press. Pp. 497-516.

Cornejo A, López-López E, Ruiz-Picos RA, Sedeño-Díaz JE, Armitage B, Arefina T, et al. *Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá*. Panamá: Ministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Panamá; 2019.

Figueiredo Moreira, F.F., Duarte Rodriguez, H.D., Sites, R.W., da Rocha Silva Cordeiro, I. & Martins Magalhaes, O. Chapter 7: Order Hemiptera. 2018. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Vol. III – *Keys to Neotropical Hexapoda*. Academic Press. Pp. 175-215.

Flowers, R.W. & De la Rosa. C. 2010. Capítulo 4: Ephemeroptera. *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I*. Revista de biología tropical, Vol. 58 (Supl. 4), 63-93.

Fusari, M.L., Dantas, G. & Pinho, L.C. 2018. Chapter 16: Orden Diptera. In: Hamada, N., Thorp, J.H. & Rogers, D.C. (Eds). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Vol. III – *Keys to Neotropical Hexapoda*. Academic Press. Pp. 607-621.

Ramírez, A. 2010. Capítulo 5: Odonata. *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica*. Revista de biología tropical, Vol. 58 (Supl. 4), 97-136.

Springer, M. 2010. Capítulo 7: Trichoptera. *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica*. Revista de biología tropical, Vol. 58 (Supl. 4), 151-198.

USEPA (United States Enviroment Agency). 1993. EPA/600/4-90/027F. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms. Fourth ed. Cincinnati, Ohio. 273 p.

Anexos

Tabla 14. Registro de la abundancia de especies de peces por cada sitio de muestreo.

Especies	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
<i>Achirus sp.</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ancistrus chagresi</i>	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i>	0	0	0	0	2	6	0	3
<i>Anguilla rostrata</i>	0	0	0	3	0	0	4	2
<i>Arcos nudus</i>	0	1	0	1	0	1	1	2
<i>Atherinella chagresi</i>	0	2	1	0	0	0	7	0
<i>Awaous banana</i>	0	0	0	0	0	7	0	0
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	0	3	8	1	4	4	7	14
<i>Brachyrhaphis episcopi</i>	17	0	0	0	0	0	1	0
<i>Brycon obscurus</i>	10	0	0	0	9	8	5	7
<i>Bryconamericus emperador</i>	0	0	0	0	0	21	1	11
<i>Dajaus monticola</i>	5	10	103	47	14	30	13	10
<i>Eleotris pisonis</i>	5	31	27	95	0	1	0	0
<i>Fonchyiichthys uracantus</i>	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Gobiomorus dormitor</i>	1	15	6	5	0	7	4	1
<i>Hoplias microlepis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0

Especies	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
<i>Hyphessobrycon panamensis</i>	61	0	1	0	0	0	0	14
<i>Joturus pichardi</i>	0	0	0	1	6	0	0	0
<i>Mugil sp.</i>	8	14	18	40	0	0	0	0
<i>Odontostilbe mitoptera</i>	0	0	0	0	0	16	0	0
<i>Poecilia mexicana</i>	1	0	0	0	1	20	2	12
<i>Pomadasy crocro</i>	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>Rhamdia laticauda</i>	10	0	0	0	2	0	0	0
<i>Sycidium altum</i>	0	52	10	53	134	207	20	7
<i>Symbranchus marmoratus</i>	1	0	1	0	0	1	0	0
<i>Trichomycterus striatus</i>	0	0	3	0	1	17	11	10

Tabla 15. Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos por sitio

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Coleoptera								
Elmidae								
<i>Disersus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heterelmis</i>	3	0	2	9	1	1	0	6
<i>Hexanchorus</i>	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Huleechius</i>	0	2	0	0	25	30	0	0
<i>Luchoelmis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Macrelmis</i>	1	0	0	0	8	2	4	5
<i>Microcyloepus</i>	1	0	0	0	0	0	3	0
<i>Neoelmis</i>	0	0	2	1	1	0	15	3
<i>Phanocerus</i>	2	0	0	0	3	0	0	0
<i>Xenelmis</i>	0	0	0	0	5	0	15	13
Psephenidae								
<i>Psephenus</i>	0	1	0	2	27	8	10	2
Ptilodactylidae								
<i>Anchytails</i>	7	1	0	0	22	3	39	13
<i>Anclytarsus</i>	16	0	0	0	0	0	0	0
Decapoda								
Atyidae								
<i>Atyia</i>	0	0	0	0	3	0	2	0
Palaemonidae								
<i>Macrobrachium</i>	0	39	21	149	0	1	0	1

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Diptera								
Ceratopogonidae								
<i>Bezzia</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
Chironomidae								
<i>Chironominae</i>	6	2	25	2	38	1	4	0
<i>Orthocladinae</i>	0	0	0	1	0	0	0	3
<i>Tanypodinae</i>	0	0	4	0	5	2	0	0
<i>Tanytarsinii</i>	0	1	3	0	0	2	21	0
Simuliidae								
<i>Simulium</i>	4	0	1	2	7	0	4	6
Tipulidae								
<i>Hexatoma</i>	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Limnophila</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tanypodinae</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tipula</i>	0	1	0	0	1	2	0	0
Ephemeroptera								
Baetidae								
<i>Americabaetis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Baetis</i>	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Baetis</i>	0	0	3	0	1	0	1	0
<i>Baetodes</i>	0	1	0	1	14	2	7	2
<i>Camelobaetidius</i>	0	5	1	6	24	12	21	3
<i>Cloeodes</i>	0	0	0	0	5	0	0	0

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
<i>Hagenulopsis</i>	0	0	0	0	0	7	0	0
<i>Mayobaetis</i>	0	0	0	0	2	1	0	1
<i>Thraulodes</i>	0	0	0	0	0	64	0	0
<i>Traverella</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Varipes</i>	0	2	0	0	2	0	0	1
Caenidae								
Caenis	0	0	6	0	0	0	0	0
Heptageniidae								
<i>Maccaffartium</i>	0	0	0	0	2	0	0	0
Leptohyphidae								
<i>Asioplax</i>	0	0	0	0	6	0	1	2
<i>Haplohyphes</i>	0	0	1	11	0	0	0	0
<i>Leptohyphes</i>	0	0	0	1	92	27	44	4
<i>Leptoifes</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Leptoyphes</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Trichorytodes</i>	0	9	0	3	5	6	1	8
<i>Vacupernius</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
Leptophlebiidae								
<i>Farrodes</i>	0	0	0	0	1	0	2	0
<i>Hagenulopsis</i>	0	0	0	0	2	0	2	0
<i>Hydrosmilodon</i>	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Terpides</i>	0	6	5	2	0	0	0	0
<i>Thraulodes</i>	0	0	0	5	20	0	40	5
<i>Traulodes</i>	0	11	0	0	0	0	0	0

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Gastropoda								
Neritidae								
<i>Nerita</i>	0	4	0	0	0	0	0	0
Thiaridae								
<i>Thiaridae</i>	0	0	31	0	0	0	0	5
Hemiptera								
Gerridae								
<i>Cylindrostethus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
Naucoridae								
<i>Acari</i>	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Ambrisus</i>	0	0	0	0	2	1	11	0
Lepidoptera								
Crambidae								
<i>Petrophila</i>	0	0	5	2	0	0	0	0
Megaloptera								
Corydalidae								
<i>Corydalus</i>	2	1	0	0	6	0	2	0
Odonata								
Calopterygidae								
<i>Hetaerina</i>	1	0	0	0	2	0	0	0
Coenagrionidae								
<i>Argia</i>	0	1	1	0	29	2	0	0

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Gomphidae								
<i>Agriogomphus</i>	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Perigomphus</i>	1	0	0	0	8	1	10	16
<i>Progomphus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
Heteragrionidae								
<i>Heteragrion</i>	0	1	2	0	11	0	3	3
Libellulidae								
<i>Libellula</i>	2	0	0	0	2	0	1	0
Platystictidae								
<i>Palaenema</i>	4	2	1	2	3	3	1	1
Polythoridae								
<i>Cora</i>	1	0	0	0	1	0	1	0
Plecoptera								
Perlidae								
<i>Anacroneuria</i>	3	0	0	0	45	2	1	3
Tricoptera								
Hydropsychidae								
<i>Leptonema</i>	65	26	0	39	181	5	57	17
<i>Macronema</i>	6	0	0	0	0	0	0	0
<i>Smicridea</i>	0	0	0	0	0	0	0	3
Hydroptilidae								
<i>Hydroptilia</i>	0	0	0	0	2	0	0	0

	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PMC-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
<i>Leucotrichia</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
Leptoceridae								
<i>Atanatolica</i>	0	0	0	1	5	0	3	0
<i>Banyallarga</i>	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Nectopsyche</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Oecetis</i>	1	1	0	0	0	0	0	2
Philopotamidae								
<i>Chimarra</i>	0	0	0	0	245	28	34	0
<i>Wormaldia</i>	8	1	0	0	0	0	0	2
Polycentropodidae								
<i>Polycentropus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabla 16. Metales analizados en las muestras de sedimentos de cada tramo.

	LD	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref- Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PML-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Aluminio	2.0	7280	20906	6569	4904	23643	20221	16124	13892
Antimonio	4.0	4	4	4	4	4	4	4	4
Arsénico	3.0	3	3	3	3	3	3	3	3
Bario	0.3	33	99.5	17.4	20.8	91.1	93.8	97.9	68.1
Berilio	1.0	1	1	1	1	1	1	1	1
Boro	2.0	2	22.1	2	2	38.9	27	27.9	18.6
Cadmio	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Calcio	1.5	544.4	2913	559.8	279.1	2523	1474	643	593.5
Cromo	1.0	3.4	10.6	4.5	2.7	188.2	15.7	33.4	20.5
Cobalto	1.0	4	12.8	3.4	2.7	45.6	12.1	18.2	11
Cobre	0.8	25	65.5	28.8	18.1	135.9	47.4	191.3	106.9
Hierro	2.5	7559	27555	8187	7339	53511	36558	51381	31865
Plomo	3.0	3	3	3	3	3	3	14.6	9.7
Litio	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Magnesio	3.0	864.6	2637	960.7	625.3	7025	5116	3341	3080
Manganeso	2.0	97.1	725.7	196.3	90.6	1077	362.1	1293	603.4
Molibdeno	0.6	0.6	0.6	4.5	0.6	2.3	0.6	10.8	4.2
Níquel	1.0	1	5.5	1.5	1.5	56.8	6.8	7.7	4.8
Fósforo	5.0	107.7	332	142.1	84.9	276.4	377.7	285.5	191.4
Potasio	3.5	223.2	653.7	160.3	148.8	253.7	413.5	558.3	356.4
Selenio	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Plata	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sodio	3.0	63.5	344.3	46.5	32.8	171.8	187.1	53.6	36.4
Estroncio	0.7	12.3	29.9	7.8	4	21.9	18.4	8.3	7.5
Talio	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Estaño	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Titanio	0.4	459.1	886.4	373.2	359.5	914.9	413	388.2	296.4
Bismuto	2.0	2	2	2	0.2	0.2	0.2	2	0.2
Vanadio	0.7	48.9	102.7	32.9	40.4	175.8	82	139.1	92.3
Zinc	0.6	16.3	37.7	30.3	12.1	88.3	55.9	113.9	72.6

Tabla 17. Metales disueltos analizados en muestras de agua.

Metales disueltos	LD	HB-EAD-001 (Ref-Hoja)	HB-EAD-002 (Ref-Rinconcito)	HB-EAD-003 (PMC-Caimito)	HB-EAD-004 (PML-Caimito)	HB-EAD-005 (PMC-Botija)	HB-EAD-006 (PML-Botija)	HB-EAD-007 (PML-Petaquilla)	HB-EAD-008 (PML-Petaquilla)
Aluminio Disuelto	0.003	0.093	0.02	0.079	0.055	0.027	0.047	0.017	0.014
Antimonio Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Arsénico Disuelto	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Bario Disuelto	0.0006	0.0193	0.0213	0.0159	0.0183	0.015	0.0157	0.0133	0.0145
Berilio Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Bismuto Disuelto	0.0002	0.0028	0.0014	0.0203	0.0085	0.0009	0.0013	0.0002	0.005
Boro Disuelto	0.003	0.008	0.003	0.011	0.003	0.007	0.007	0.003	0.003
Cadmio Disuelto	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Calcio Disuelto	0.1	4.03	4.31	10.43	5.17	6.86	3.86	3.97	2.1
Cobalto Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Cobre Disuelto	0.0003	0.0051	0.001	0.0052	0.0031	0.0057	0.0009	0.004	0.0023
Cromo Disuelto	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Estaño Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Estroncio Disuelto	0.0002	0.03671	0.03094	0.06544	0.04353	0.04379	0.03254	0.02947	0.02644
Fósforo Disuelto	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Hierro Disuelto	0.016	0.196	0.044	0.146	0.176	0.181	0.127	0.135	0.256
Litio Disuelto	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
Magnesio Disuelto	0.002	1.163	1.138	1.474	1.295	2.618	1.508	1.606	1.557
Manganeso Disuelto	0.0002	0.0115	0.0048	0.0286	0.0138	0.0456	0.0086	0.0223	0.0353
Mercurio Disuelto	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
Molibdeno Disuelto	0.0002	0.0024	0.0005	0.0174	0.0048	0.0008	0.0002	0.0005	0.0002
Níquel Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Plata Disuelta	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008	0.00008
Plomo Disuelto	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Potasio Disuelto	0.02	1.06	0.85	1.21	1.01	0.54	0.65	0.6	0.49
Selenio Disuelto	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Silicio Disuelto	0.1	6.29	8.53	4.82	8.25	6.56	3.68	5.71	6.1
Sodio Disuelto	0.01	4.57	4.18	4.45	4.84	4.22	3.97	3.3	3.61
Talio Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Titanio Disuelto	0.0005	0.0005	0.0005	0.0028	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Uranio Disuelto	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002

Vanadio Disuelto	0.0002	0.0015	0.0002	0.0007	0.0012	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Zinc Disuelto	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.019	0.022	0.008	0.008